JIPET

Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology
Vol. 15/ No. 59/ Autumn 2024
P-ISSN: 2322-3871, E-ISSN: 2345-5594, http://jipet.iaun.ac.ir/

20.1001.1.23223871.1403.15.59.4.7

Research Article

Reliable Relay Node Selection to Real-Time Messaging in Vehicular Networks

Yaser Taj[1], *Ph.D. Student*, Bahador Bakhshi-Sareskanrood[1,2], *Assistant Professor*, Hessam ZandHessami[1], *Assistant Professor*

[1]Faculty of Management and Economic- Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2]Computer Engineering Department- Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
yaser.taj@srbiau.ac.ir, bbakhshi@aut.ac.ir, h.zand@srbiau.ac.ir

Abstract

One of the intelligent transportation systems' goals is to improve safety and increase the quality of service on road journeys. Transmitting the message in critical situations with minimal delay and on time is essential for ensuring the health and safety of citizens on road trips. Frequent topological changes pose significant challenges to the operation of safety programs and reduce the probability of sending critical messages in real-time. This article proposes the reliable relay node selection to real-time messaging (RRRM) routing algorithm to increase the reliability of sending real-time messages in vehicular networks. To expedite the transmission of information, by introducing three indicators for selecting intermediate vehicles entitled "Record of vehicle displacement", "Similarity of vehicle velocity with the velocity average of neighbor vehicles", and "Amount of trusty adjacent vehicles", the route vehicles are scored. The worthiest vehicles are selected as members of the route. RRRM measures the temporal conformity of the vehicles' previous presence in the current route and the stability of their connection with neighboring vehicles. It avoids route failure, increased delays, and failure to send critical messages to the destination by preventing the selection of unreliable vehicles as relays. Extensive simulations with multiple scenarios in the NS-3 and SUMO demonstrate the superiority of the RRRM in reducing route-failure, mean latency, and control overload, as well as increasing packet delivery rates in urban and highway environments.

Keywords: intelligent transportation systems, real-time routing, reliability, reliable routing, vehicular network

Received: 24 April 2022
Revised: 10 June 2022
Accepted: 23 August 2022

Corresponding Author: Dr. Bahador Bakhshi-Sareskanrood

Citation: Y. Taj, B. Bakhshi-Sareskanrood, H. ZandHessami, "Reliable relay node selection to real-time messaging in vehicular networks", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 15, no. 59, pp. 53-80, September 2024 (in Persian).

20.1001.1.23223871.1403.15.59.4.7

مقاله پژوهشی

انتخاب گره‌های میانی قابل‌اعتماد برای ارسال پیام‌های بلادرنگ در شبکه خودرویی

یاسر تاج[1]، دانشجوی دکتری، بهادر بخشی-سراسکانرود[1،2]، استادیار، حسام زندحسامی[1]، استادیار

۱- دانشکده مدیریت و اقتصاد- واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- دانشکده مهندسی کامپیوتر- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
yaser.taj@srbiau.ac.ir, bbakhshi@aut.ac.ir, h.zand@srbiau.ac.ir

چکیده: یکی از اهداف سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، بهبود ایمنی و افزایش کیفیت سرویس در سفرهای جاده‌ای است. انتقال پیام در شرایط بحرانی، با حداقل تاخیر و به‌صورت بلادرنگ از ضروریات تامین سلامت و امنیت شهروندان در سفرهای جاده‌ای است. تغییرات مکرر توپولوژی، کارکرد برنامه‌های ایمنی را با چالش‌های اساسی روبرو می‌کند و احتمال ارسال پیام‌های بحرانی را در زمان واقعی کاهش می‌دهد. در این پژوهش، الگوریتم مسیریابی انتخاب گره رله قابل اعتماد برای پیام‌رسانی بلادرنگ (RRRM)، با هدف افزایش قابلیت‌اطمینان برای ارسال پیام‌های بلادرنگ در شبکه‌های خودرویی پیشنهاد شده است و برای تسریع ارسال اطلاعات، با معرفی سه شاخص برای انتخاب خودروهای میانی با عنوان «سابقه تکرار حضور در مسیر»، «مطابقت با میانگین هارمونیک سرعت همسایگان» و «بیشترین همسایگان قابل اعتماد»، خودروهای مسیر امتیازدهی می‌شوند و شایسته‌ترین خودروها، به‌عنوان اعضای مسیر انتخاب می‌شوند. در RRRM با سنجش تطابق زمانی حضور قبلی خودروها در مسیر کنونی و پایداری ارتباط آنها با خودروهای همسایه، بر افزایش پایداری مسیر تاکید می‌شود و با جلوگیری از انتخاب وسایل-نقلیه نامطمئن به‌عنوان رله، از شکست مسیر و افزایش تاخیر و همچنین عدم ارسال پیام‌های بحرانی به مقصد جلوگیری می‌شود. شبیه‌سازی گسترده با سناریوهای متعدد در محیط NS-3 و سومو، بیانگر برتری روش RRRM در کاهش معیارهای شکست-مسیر، میانگین‌تاخیر و سربارکنترلی و همچنین افزایش نرخ تحویل بسته‌ها در محیط‌های شهری و بزرگ-راهی است.

کلمات کلیدی: سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، شبکه خودرویی، قابلیت اطمینان، مسیریابی بلادرنگ، مسیریابی مطمئن

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۲/۴
تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۳/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۶/۱

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر بهادر بخشی-سراسکانرود
نشانی نویسنده‌ی مسئول: تهران- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات- دانشکده مدیریت و اقتصاد

۱- مقدمه

برای توسعه برنامه‌های مدیریت ترافیک و ایمنی جاده‌ها، از شبکه‌های خودرویی به‌عنوان یک موضوع مهم پژوهشی در سیستم-های حمل و نقل هوشمند استفاده می‌شود. قابلیت مدیریت ترافیک در زمان واقعی برای رفع مشکلات ترافیکی در شهرهای هوشمند از اهمیت بسزایی برخوردار است [۱]. ارتباطات وسیله-نقلیه به وسیله-نقلیه[۱] (V2V)، به وسایل-نقلیه اجازه می‌دهد پیام‌های اطلاعاتی را به‌صورت بلادرنگ، بین خودشان به اشتراک بگذارند. با استفاده از این روش، وسایل-نقلیه می‌توانند اطلاعات ترافیکی را با استفاده از ارتباطات گام‌به‌گام به مقصد ارسال کنند [۲]. اگرچه برای مدیریت ترافیک استفاده از ارتباط V2V امکان‌پذیر است، ولی امکان ارتباطی مذکور، تحت محدودیت‌های زمانی و مکانی قرار دارد [۳]. توزیع ناهمگن وسایل-نقلیه، ورود و خروج مکرر خودروها و تفاوت سرعت و جهت حرکت آنها، شبکه خودرویی را در معرض اختلال ارتباطی قرار داده است [۴]. ضمنا مشکلاتی نظیر ازدحام ناشی از افزایش سریع تعداد وسایل-نقلیه، نیاز به اهایی دارد تا از حوادث رانندگی و خطرات آن جلوگیری نماید [۵]. وسایل-نقلیه می‌توانند اطلاعاتی مانند سرعت خودرو، هشدار ایمنی، گزارش تصادف، جریان ترافیک و غیره را جمع‌آوری کنند. انتقال داده‌های مذکور در زمان واقعی به یکی از موضوعات مهم پژوهشی تبدیل شده است [۶]. سرویس‌های مبتنی بر شبکه‌های خودرویی باید با ویژگی‌های محیط شهری و بزرگ‌راهی مانند موانع زیرساختی، چراغ-های راهنمایی، ساختمان‌ها یا اتصالات جاده‌ای، سازگار باشد تا کیفیت سرویس در سطح مطلوبی باقی بماند [۷]. تقاضا برای ارتباط مطمئن و کارآمد بین وسایل-نقلیه (V2V) به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است. ارسال پیام‌های بلادرنگ در شبکه‌های خودرویی نیاز به پروتکل مسیریابی مطمئن و کارآمد دارد. عملکرد پروتکل‌های مسیریابی تحت تأثیر در دسترس بودن وسایل-نقلیه و کیفیت ارتباط آنها است و سربار تولید شده در فرآیند تشکیل مسیر ممکن است کیفیت عملکرد پروتکل‌های مسیریابی را کاهش دهد [۸]. به دلیل سرعت وسایل-نقلیه، کشف یک مسیر قابل اطمینان در شبکه‌های خودرویی، پیچیده است. عملکرد مسیریابی تحت تأثیر پارامترهای زیادی مانند توزیع ترافیک وسایل-نقلیه و الگوهای تحرک آنها قرار دارد [۹]. در محیط پویای شهری، ساختار شبکه به دلیل تراکم و تحرک بالای خودروها پیچیده می‌شود و یک روش واحد، نمی‌تواند کارایی مطلوبی داشته باشد [۱۰]. با توجه به گسترش بهره‌برداری از سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، ارائه راه‌کار برای مدیریت بهینه ترافیک و بهبود ارسال پیام‌های بلادرنگ در مواقع بحرانی، یکی از دستاوردهای این پژوهش خواهد بود. لذا با توجه به چالش‌های مطرح شده فوق، هدف این پژوهش، ارائه یک مدل مسیریابی مطمئن برای ارسال پیام‌های بلادرنگ در شبکه‌های خودرویی است به نحوی که بتواند مشکلات مذکور را حل کند و راه‌کاری مطمئن و قابل تعمیم برای شرایط متفاوت محیطی فراهم نماید. در همین راستا سوالاتی که مطرح است و باید در این پژوهش به آنها پاسخ داده شود، به شرح ذیل است:

- معیارهای افزایش قابلیت اطمینان برای ارسال پیام‌های بلادرنگ در شبکه‌های خودرویی چگونه است؟
- برای افزایش قابلیت گره‌های میانی و رفع چالش سربار کنترلی، از چه روش‌هایی استفاده می‌شود؟
- کیفیت مدل ارائه شده نسبت به مدل‌های کنونی با توجه به پارامترهای آزمون (نرخ تحویل بسته‌ها، پایداری مسیر، میزان تاخیر، سربار کنترلی) چگونه است؟

در این پژوهش که با انگیزه ارائه یک مدل مسیریابی برای ارسال مطمئن پیام‌های بلادرنگ به نام انتخاب گره رله قابل اعتماد برای پیام‌رسانی بلادرنگ[۲] (RRRM) انجام می‌شود، ترکیبی از راهبردهای مدیریت ترافیک، ارسال بلادرنگ و مطمئن بسته‌های اطلاعاتی و همچنین کنترل منابع ارائه می‌گردد. برای ایجاد مسیرهای پایدارتر، RRRM از معیارهای «سابقه حرکتی/زمانی خودرو[۳]»، «میزان تطابق سرعت خودرو با میانگین هارمونیک سرعت خودروهای نزدیک[۴]» و «تعداد همسایگان پایدار خودرو[۵]»، برای انتخاب مناسب‌ترین خودروی رله[۶] استفاده می‌کند و با توجه به تحرک دائمی خودروها، پیش از به خطر افتادن پایداری مسیر، خودروی رله جایگزین را در کمترین زمان ممکن فعال می‌کند. نوآوری‌های اصلی انجام شده در این پژوهش به شرح زیر است:

- با توجه به سبک زندگی شهری، به‌عنوان نمونه برای رفت و آمد به محل کار و منزل، تردد خودروها در مسیرهای خاص و در زمان‌های مشخصی به‌صورت روزانه تکرار می‌شود. در این پژوهش، از این شرایط برای تشخیص خودروهای ادامه دهنده مسیر در جهت تشکیل مسیرهای پایدارتر استفاده شده است.

- معیار دیگر برای انتخاب خودروهای مسیر، «کمترین فاصله سرعتی با میانگین هارمونیک سرعت خودروهای همسایه» است. تفاوت روش پیشنهادی با پژوهش‌های قبلی، این است که به جای استفاده از میانگین حسابی یا هندسی، از میانگین هارمونیک استفاده شده است که عدد دقیق‌تری را به‌عنوان میانگین سرعت محاسبه می‌کند [۱۱].
- به جای استفاده از معیار «حداکثر تعداد همسایگان» برای انتخاب خودروهای مسیر، در این پژوهش با مدنظر قراردادن روند کاهش یا افزایش قدرت سیگنال پیام‌های دوره‌ای، خودروهایی که به علت تفاوت سرعت یا مسیر، به‌صورت گذری در کنار خودرو قرار گرفته و به‌زودی از آن دور می‌شوند، متمایز شده و صرفا همسایگان مطمئن در محاسبات به‌کار گرفته می‌شوند.
- شبیه‌سازی گسترده روی RRRM با تعریف چندین سناریوی قابل تعمیم در شرایط مختلف بزرگ‌راهی و شهری، در محیط NS-3 و سومو[۷] انجام گردید و مدل پیشنهادی با سایر روش‌های مطرح شده اخیر مقایسه شد. نتایج به‌دست آمده، بیانگر برتری RRRM در پارامترهایی نظیر میزان شکست مسیر، تاخیر انتها-به-انتها[۸]، نسبت تحویل بسته‌ها و سربار کنترلی است.

سایر بخش‌های این مقاله به این‌صورت ارائه می‌گردد: در بخش بعدی، مروری بر کارهای انجام شده اخیر در حوزه ارسال پیام و مسیریابی شبکه‌های خودرویی ارائه می‌شود. در بخش ۳، مدل ارتباطی شبکه و فرض‌های سیستم تشریح می‌شود. معیارهای پیشنهادی برای انتخاب خودروهای رله و مدل مسیریابی پیشنهادی در بخش ۴ آورده شده است. در بخش ۵، نحوه ارزیابی روش پیشنهادی، سناریوها و نتایج شبیه‌سازی آمده است و در بخش۶ نتیجه این پژوهش بیان می‌شود.

۲- پیشینه پژوهش

در مرجع [۱۲] با هدف کاهش تاخیر در شبکه‌های خودرویی، یک روش مسیریابی توزیع شده ارائه شده که با آگاهی از وضعیت ترافیکی جاده‌ها، مسیرهای مختلف را وزن‌دهی می‌کند و در ترافیک‌های متوسط عملکرد مناسبی دارد. در مرجع [۱۳] با رویکرد کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، یک روش مسیریابی برای ردیابی اهداف متحرک ارائه شده که با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی و پیش‌بینی، صرفا گره‌هایی که در طول مسیر مورد استفاده قرار می‌گیرند را در حالت فعال نگه داشته است. در مرجع [۱۴] یک روش مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد شده که در آن گره‌هایی که شایستگی آنها بر اساس انرژی، کیفیت پیوند، میزان تأخیر و نرخ تحویل داده، بیشینه باشد، به‌عنوان سرخوشه انتخاب شده و بسته‌های اطلاعاتی منتقل می‌شوند. برای بهبود کیفیت انتقال ویدئو در شبکه‌های خودرویی، با استفاده از کلونی مورچگان و منطق فازی، یک روش مسیریابی برای جریان‌سازی ویدیویی چند مسیره در مرجع [۱۵] ارائه شده که مطابق ارزیابی انجام شده، بهبودهایی در نرخ تحویل بسته، تأخیر انتها-به-انتها و سربار مسیریابی داشته است. مسیریابی جغرافیایی فازی در مرجع [۱۶] پیشنهاد شده که با پارامترهای تأخیر، توان عملیاتی، اندازه بافر و فاصله، گام بعدی را انتخاب می‌کند. این روش عملکرد شبکه را افزایش داده ولی در تأخیر انتقال، نیاز به بهبود دارد. برای انتقال پیام از یک الگوریتم یادگیری مبتنی بر پاداش فوری برای انتخاب همسایگان در مرجع [۱۷] استفاده شده که مطابق ارزیابی انجام شده عملکرد بهتری در میزان تأخیر، تحویل پیام و سربار دارد. در ارائه روش مسیریابی، با در نظر گرفتن تراکم وسایل-نقلیه و اطلاعات زمان واقعی، درجه اتصال خودروها در مرجع [۱۸] محاسبه شده است. در این روش، تاخیر و نسبت تحویل بسته‌ها بهبود داشته ولی کارایی آن در شرایط ازدحام شهری و همچنین تغییر سرعت بررسی نشده است. در مرجع [۱۹]، یک مسیریابی پویا بر اساس بهینه‌سازی کلونی مورچه پیشنهاد شده که وسایل-نقلیه به‌عنوان مورچه‌های مصنوعی در نظر گرفته می‌شوند و به دنبال پویایی جریان ترافیک، تصمیم تطبیقی می‌گیرند. کارایی این روش باید در تراکم‌های متنوع ارزیابی گردد. در مرجع [۲۰]، یک روش بروزرسانی تطبیقی برای ارسال پیام‌های دوره‌ای ارائه شده که بر اساس موقعیت، سرعت و جهت حرکت خودرو، طول عمر پیوند وسایل-نقلیه را تخمین می‌زند. در این روش، نسبت تحویل بسته، تاخیر و سربار مسیریابی بهبود داشته است ولی مدل تحرک خودروها در سناریوهای شهری و بزرگ‌راهی بر کیفیت عملکرد آن تاثیرگذار است. در مرجع [۲۲]، یک مسیریابی سلسله مراتبی مبتنی بر تقویت یادگیری ارائه شده که در آن، مناطق جغرافیایی به شبکه‌های کوچک‌تر تقسیم شده و یک جدول براساس جریان ترافیک ایجاد می‌شود. این روش نسبت تحویل بسته و توان عملیاتی را بهبود داده است ولی فقط می‌تواند به مقصدهای ثابت، پیام ارسال کند. ضمنا یادگیری آن نیز به‌صورت آفلاین است و با خصوصیات پویای شبکه خودرویی

سازگار نیست. روش ارائه شده در مرجع [۲۳]، با استفاده از دو جدول همسایگی، ارسال بسته‌ها را مدیریت کرده و از انتخاب مسیرهای نامناسب جلوگیری می‌کند. در این روش، نرخ از دست رفتن بسته‌ها و میزان تأخیر، بهبود داشته است ولی تاثیر پارامترهای دیگر مانند تغییر سرعت، جهت و تراکم خودروها بررسی نشده‌اند. یک مسیریابی تطبیقی قابل اعتماد در مرجع [۲۴] ارائه شد که از طریق یادگیری قابلیت اطمینان پیوند، مشکلات تغییر توپولوژی را بهبود می‌دهد ولی فرایند یادگیری به‌صورت محلی انجام می‌شود و هزینه مسیریابی در محیط شبکه خودرویی، بسیار زیاد خواهد بود. در مرجع [۲۵]، یک مسیریابی مبتنی بر یادگیری ابتکاری ارائه شده است که باعث بهبود معیارهای تحویل بسته و تأخیر می‌شود. در این روش، عدم تطابق سرعت همگرایی یادگیری با تغییرات توپولوژی می‌تواند چالش برانگیز باشد. در مرجع [۲۶]، یک مسیریابی مبتنی بر یادگیری پیشنهاد شده که از ظرفیت پهپادها برای تشکیل مسیر و انتخاب رله استفاده می‌کند. این روش که توان و تأخیر شبکه را بهبود داده است، از بررسی صف در هر خودرو برای تخمین بار شبکه و همچنین تابع کنترل پاداش برای همگرایی سریع یادگیری استفاده می‌کند. مرجع [۲۷]، یک مسیریابی آگاه از کیفیت خدمات را ارائه می‌دهد که بسته‌ها را از مطمئن‌ترین مسیر به مقصد ارسال می‌کند. مسیرهای نامزد باید کمترین نسبت سیگنال به تداخل به اضافه نویز[۹] (SINR) و بیشترین احتمال اتصال را داشته باشند. این روش، نسبت تحویل بسته و تاخیر را در سناریوهای شهری بهبود داده است. در مرجع [۲۸]، یک مسیریابی بلادرنگ ارائه شده که با در نظر گرفتن وضعیت ترافیک در تقاطع بعدی، مسیری بهینه را انتخاب می‌کند. این روش در نرخ تحویل بسته، تأخیر و سربار کنترلی بهبودهایی داشته است. در مرجع [۲۹]، یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر یادگیری ارائه شده است که اطلاعات ترافیک را می‌آموزد. این روش از نظر نرخ تحویل بسته و میزان تاخیر بهبود داشته است ولی به زیرساخت واحد کنار جاده[۱۰] (RSU) وابستگی داشته و برای تراکم‌های متفاوت در مسیر، نتایج متفاوتی ارائه می‌کند. مرجع [۳۰]، یک مسیریابی مبتنی بر تمایز ترافیک پیشنهاد نموده است و با ارائه یک مسئله بهینه‌سازی، تاخیر انتقال را بهینه نمودند. این روش برای ترافیک‌های حساس به تاخیر مناسب است ولی هزینه پهنای باند مصرفی می‌بایست در نظر گرفته شود. در مرجع [۳۱]، یک مکانیسم رله توزیع شده پیشنهاد شده است که امکان کاهش انرژی مصرفی گره‌ها را فراهم می کند و بر اساس توزیع هندسی، اولویت انتخاب را به رله های نزدیکتر به مقصد می‌دهد. این روش، مصرف انرژی را کاهش می‌یابد. هر چند که مصرف انرژی موضوع چالش برانگیزی برای شبکه‌های خودرویی نیست اما این روش برای سناریوهای شهری کاربردپذیر بوده و برای نواحی کم تردد قابل استفاده نیست. در مرجع [۳۲]، به منظور صرفه جویی در مصرف انرژی و بهبود عملکرد شبکه، یک الگوریتم انتخاب رله را برای شبکه‌های حسگر بی سیم پیشنهاد شده است که از طریق استراتژی چند معیاره مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[۱۱] (AHP)، گره‌های بهینه را بر اساس وضعیت انرژی، نسبت سیگنال به نویز و احتمال قطع منبع انرژی انتخاب می‌کند. این روش مصرف انرژی را کاهش و طول عمر شبکه را بهبود داده است. مرجع [۳۳]، یک روش انتخاب رله را با در نظر گرفتن طول عمر باتری گره‌ها پیشنهاد نموده که در آن، با هدف کاهش مصرف انرژی و با در نظر گرفتن نسبت سیگنال به نویز، به جای استفاده از یک رله، از مجموعه مشارکتی از رله‌ها استفاده می‌شود. این روش مصرف انرژی را کاهش داده و طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد ولی تعداد گام های مسیر در آن افزایش یافته است. در مرجع [۳۴]، یک روش انتخاب رله مبتنی بر یادگیری ماشین در شبکه‌های بی‌سیم پیشنهاد شده که یادگیری آن به‌صورت آفلاین است و پیچیدگی انتخاب رله و تأخیر پردازش را کاهش می‌دهد. این روش در ترافیک‌های متراکم و در ناحیه نسبت سیگنال به نویز بالا، عملکرد بهینه داشته است ولی کاربرد آن در شبکه خودرویی به علت یادگیری آفلاین ممکن است بهینه نباشد و باید مورد ارزیابی قرار گیرد. در جدول (۱)، مقایسه‌ای از راه‌کارهای ارائه شده اخیر در مسیریابی شبکه‌های خودرویی ارائه شده است. در مرجع [۳۵]، با هدف رفع چالش محدودیت انرژی در اینترنت اشیا، یک روش انتخاب رله با در نظر گرفتن وضعیت بافر داده و انرژی باقیمانده پیشنهاد شده و با استفاده از مدل‌سازی زنجیره مارکوف آن را تحلیل نموده است. این روش که به ازای هر رله، یک رله جایگزین نیز در نظر می‌گیرد، اختلال در فرایند دریافت و انتقال داده‌ها را کاهش داده است ولی با توجه به عدم محدودیت انرژی در شبکه‌های خودرویی، بهره‌برداری از این روش در این شبکه، کارایی چندانی ندارد. در مرجع [۳۶]، با هدف افزایش طول عمر شبکه‌های بی‌سیم در کاربردهای مرتبط با سلامتی و تجهیزات نصب شده روی بدن بیماران، روشی برای انتخاب رله مبتنی بر خوشه پیشنهاد شده که شامل سه فاز به نام‌های انتخاب رله، خوشه‌بندی و انتقال داده است. این روش که

انرژی باقیمانده و همچنین فاصله حسگرها را در مسیریابی در نظر می‌گیرد، بهبودهایی در مصرف انرژی و طول عمر شبکه داشته است. در مرجع [۳۷]، راه‌کاری برای تحویل سریع‌تر پیام‌های ایمنی در شبکه‌های خودرویی ارائه شد که در آن، پیام‌ها اولویت‌بندی شده و دورترین گره به‌عنوان رله گام بعدی انتخاب می‌شود. این روش در نرخ تحویل بسته‌ها، میانگین تاخیر، نرخ تصادم و همچنین سربار بهبود داشته است ولی کلاس‌بندی پیام‌های ایمنی، علیرغم کاهش پیچیدگی پیاده‌سازی، برای ارائه طیفی از کیفیت سرویس موجب محدودیت می‌گردد. ضمنا کیفیت روش پیشنهادی برای ترافیک‌های متنوع مورد بررسی قرار نگرفته است.

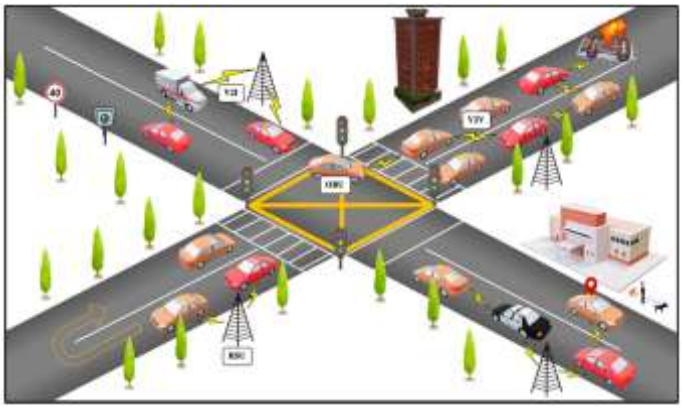
Table (1): A comparison of recent solutions in the routing of vehicular networks

جدول (۱): مقایسه ای از راه‌کارهای اخیر در مسیریابی شبکه‌های خودرویی

مرجع	روش پیشنهادی	مزایا	معایب
[۱۶]	مسیریابی جغرافیایی فازی	عملکرد شبکه را افزایش داده است.	برای کاهش تأخیر انتقال، نیاز به بهبود دارد.
[۱۷]	مسیریابی با استفاده از یادگیری مبتنی بر پاداش فوری	عملکرد بهتری در کاهش میزان تأخیر، بهبود تحویل پیام و کاهش سربار دارد.	سناریوهای شهری و بزرگ‌راهی به تفکیک بررسی نشده اند.
[۱۸]	مسیریابی مبتنی بر اطلاعات زمان واقعی تراکم وسایل-نقلیه	میانگین تاخیر و نسبت تحویل بسته ها بهبود داشته اند.	کارایی آن در شرایط ازدحام شهری و همچنین تغییر سرعت بررسی نشده است.
[۱۹]	مسیریابی پویا بر اساس بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها	مبتنی بر نظریه بوده و بر اساس پویایی جریان ترافیک، تصمیم تطبیقی می‌گیرد.	کارایی آن در تراکم‌های متنوع ارزیابی نشده است.
[۲۰]	بروزرسانی تطبیقی برای ارسال پیام‌های دوره‌ای با هدف بهبود کیفیت مسیریابی	نسبت تحویل بسته، میانگین تاخیر و سربار مسیریابی بهبود داشته است.	مدل تحرک خودروها در سناریوهای شهری و بزرگ‌راهی بر کیفیت عملکرد آن تاثیرگذار است.
[۲۱]	مسیریابی مبتنی بر منطقه فعال	میانگین تأخیر را بهبود داده است.	فقط در مسیرهایی که دسترسی به RSU فراهم است، قابل اجرا است.
[۲۲]	مسیریابی سلسله مراتبی مبتنی بر تقویت یادگیری	نسبت تحویل بسته و توان عملیاتی را بهبود داده است.	فقط می‌تواند به مقصدهای ثابت، پیام ارسال کند. یادگیری آن به‌صورت آفلاین است و با خصوصیات پویای شبکه خودرویی سازگار نیست.
[۲۳]	مسیریابی و مدیریت ارسال بسته ها با استفاده از جداول همسایگی	نرخ از دست رفتن بسته‌ها و میانگین تأخیر، بهبود داشته است.	تاثیر پارامترهای دیگر مانند تغییر سرعت، جهت و تراکم خودروها بررسی نشده‌اند.
[۲۴]	مسیریابی تطبیقی قابل اعتماد	از طریق یادگیری قابلیت اطمینان پیوند، مشکلات تغییر توپولوژی را بهبود می-دهد.	فرایند یادگیری به‌صورت محلی انجام می‌شود و هزینه مسیریابی در محیط شبکه خودرویی، بسیار زیاد است.
[۲۵]	مسیریابی مبتنی بر یادگیری ابتکاری	نرخ تحویل بسته‌ها و میانگین تأخیر بهبود داشته است.	عدم تطابق سرعت همگرایی یادگیری با تغییرات توپولوژی چالش برانگیز است.
[۲۶]	مسیریابی مبتنی بر یادگیری	توان و تأخیر شبکه را بهبود داده است.	سناریوهای شهری و بزرگ‌راهی به تفکیک بررسی نشده‌اند.
[۲۷]	مسیریابی آگاه از کیفیت خدمات	نسبت تحویل بسته و میانگین تاخیر را در سناریوهای شهری بهبود داده است.	معیارهای انتخاب مسیر جامع نبوده و تمرکز آن صرفا روی نویز و احتمال اتصال است.
[۲۸]	مسیریابی بلادرنگ	نرخ تحویل بسته، میانگین تأخیر و سربار کنترلی بهبودهایی داشته است.	پیش بینی دقیق ترافیک در تقاطع بعدی چالش بر انگیز است.
[۲۹]	مسیریابی مبتنی بر یادگیری	نرخ تحویل بسته و میانگین تاخیر بهبود داشته است.	به زیرساخت RSU وابستگی داشته و برای تراکم‌های متفاوت در مسیر، نتایج متفاوتی ارائه می‌کند.
[۳۰]	مسیریابی مبتنی بر تمایز ترافیک	تاخیر انتقال را بهینه نموده و برای ترافیک‌های حساس به تاخیر مناسب است.	هزینه پهنای باند مصرفی قابل توجه است.

در مرجع [۳۸]، یک الگوریتم مسیریابی و خوشه‌بندی برای شبکه‌های خودرویی پیشنهاد گردید که با بهره‌گیری از اطلاعات محلی هر گره به خوشه‌بندی چند-پرشی، تعیین سرخوشه و مسیریابی درون-خوشه می‌پردازد. این روش از تأخیر کمتر و نرخ تحویل بستهٔ بیشتر برخوردار است ولی با افزایش تعداد وسایل نقلیه، میزان تاخیر و سربار افزایش می‌یابد. در مرجع [۳۹]، با استفاده از نظریه مجموعه فازی، یک پروتکل مسیریابی برای شبکه‌های خودرویی معرفی شده که با استفاده از پهنای باند، قدرت سیگنال دریافتی و سطح ازدحام، به هر اتصال یک اعتبار می‌دهد و بر اساس آن پایداری مسیر را افزایش می‌دهد. نرخ تحویل بسته و میانگین تأخیر در این روش بهبود داشته است ولی سربار آن در مناطق پرتردد قابل توجه است. ضمنا کارایی آن صرفا برای مناطق شهری بررسی شده و برای مسیرهای بزرگ‌راهی باید ارزیابی گردد. مرجع [۴۰]، یک روش تدافعی بر اساس کنترل توان فرستنده جهت مقابله با حمله‌های لایه فیزیکی در شبکه‌های خودرویی ارائه نموده که در آن با استفاده از نظریه بازی، توان انتقال اطلاعات توسط فرستنده و مهاجم، به نحوی بهینه‌سازی شده که به بهبود امنیت کانال منجر شود. این روش اثر تهاجم را به حداقل رسانده و ایمنی ارسال اطلاعات را افزایش داده است. در شکل (۱) نیز نمایی از حرکت وسایل-نقلیه در محیط شهری ارائه شده است. همان‌طور که در توضیحات فوق مشخص گردید، یکی از مهم‌ترین چالش‌های مطرح شده در مقاله‌های اخیر [۳۶-۳۱]، جهت انتخاب رله مناسب در شبکه‌های بی سیم یا محیط IoT، مساله کمبود انرژی بوده و راه‌کارهای مربوطه نیز بر همین اساس، بر حفظ و استفاده حداقلی از انرژی رله‌ها و همچنین انتخاب رله با بیشترین انرژی باقیمانده پیشنهاد شده‌اند. با توجه به عدم محدودیت انرژی در شبکه‌های خودرویی، برای بهره‌برداری از روش‌های مذکور در این شبکه-ها، باید بر سایر معیارهای انتخاب رله نظیر قابلیت اطمینان، هم‌راستایی مسیر و تشابه سرعت با خودروهای مسیر تمرکز شود و روش‌های مذکور برای شبکه‌های خودرویی بهینه‌سازی شوند. ضمنا راه‌کارهای مطرح شده در مقاله‌های [۳۷] الی [۳۹]، در سناریوهای ارائه شده از کیفیت مناسبی برخوردار هستند. ولی با توجه به اینکه کارایی این روش‌ها در ترافیک‌های متنوع شهری و بزرگ‌راهی بررسی نشده و در بعضی از سناریوهای پر تردد، افزایش میزان تاخیر و سربار داشته‌اند، استفاده از این راه-کارها در شبکه‌های حمل و نقل هوشمند شامل محیط‌های پرتردد شهری و پرسرعت بزرگ‌راهی از جامعیت کافی برخوردار نیست. مرجع [۴۰] نیز بر افزایش امنیت ارسال اطلاعات در شبکه‌های خودرویی متمرکز شده و راه‌کار پیشنهادی آن صرفا در حوزه امنیت و جلوگیری از مخاطرات امنیتی است. در روش پیشنهادی (RRRM) این مقاله، با تمرکز روی چالش‌های بیان-شده، از معیارهای افزایش قابلیت اطمینان برای انتخاب خودروهای رله استفاده می‌شود و ضمن ارسال بسته‌ها در نزدیک‌ترین زمان نسبت به زمان واقعی، از شکست مسیر پیش‌گیری شده و میزان تولید و تبادل پیام‌های کنترلی نیز کاهش می‌یابد. ضمنا برای بررسی میزان تعمیم‌پذیری RRRM، شبیه‌سازی‌های متعددی متناسب با شرایط محیط‌های شهری و بزرگ‌راهی انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی بیانگر این است که برخلاف اغلب روش‌ها، RRRM صرفا در یک سناریوی خاص کاربردپذیر نبوده و در بخش‌های مختلف شبکه شهری و بزرگ‌راهی قابل به‌کارگیری است.

۳- مدل سیستم



شکل (۱): نمایی از حرکت وسایل-نقلیه در محیط شهری [۴۱]

Figure (1): A view of the vehicles' movement in the urban environment [41]

با توجه به نمای ارائه شده از حرکت وسایل-نقلیه در شکل (۱)، فرض‌های این پژوهش و مدل شبکه، در این بخش توصیف می‌شود.

۳-۱- فرض‌ها

در این پژوهش هر خودرو مجهز به سیستم موقعیت‌یابی جهانی[۱۲] (GPS) و یک نقشه دیجیتالی است که به‌وسیله آنها، هر خودرو می‌تواند شناسه جاده را تعیین کند. همچنین هر خودرو به یک واحد سواری[۱۳] (OBU) مجهز است که خودروها را قادر می‌سازد تا پیام‌های دوره‌ای را تبادل و پردازش نمایند. فقط وسایل-نقلیه‌ای که در یک جهت حرکت می‌کنند، در انتقال پیام مشارکت می‌کنند و پیام های خودروهای در حال حرکت در جهت دیگر، نادیده گرفته می‌شوند. پس از مقداردهی اولیه، هر وسیله-نقلیه برای اطلاع همسایگان از سرعت و موقعیت خود، یک پیام دوره‌ای ارسال می‌کند.

۳-۲- مدل شبکه

شبکه‌های خودرویی در این پژوهش متشکل از خودروهای در حال حرکت در کلیه مسیرهای شهری و بزرگ‌راهی هستند. در زمان ارسال اطلاعات از خودروی مبدا به خودروی مقصد، وضعیت‌های ذیل برای خودروهای مبدا و مقصد وجود دارد:

- هر دو وسیله-نقلیه مبدا و مقصد در همسایگی یکدیگر قرار دارند-ارسال اطلاعات به‌صورت مستقیم و V2V قابل انجام است.
- وسایل-نقلیه مبدأ و مقصد در همسایگی یکدیگر قرار ندارند: وسیله-نقلیه مبدا، پیام درخواست مسیر را به خودروهای همسایه منتقل می‌کند و ارسال پیام درخواست مسیر به‌صورت V2V به سمت مقصد ادامه می‌یابد. پس از برقراری مسیر، داده-ها به‌صورت V2V از مبدا به مقصد ارسال می‌شوند.

۴- مدل پیشنهادی

در این بخش با معرفی معیارهای شایستگی خودروها و بیان نحوه ارسال پیام درخواست مسیر تا تشکیل مسیر، مدل پیشنهادی به نام RRRM را تشریح می‌کنیم. جدول (۲) شامل لیستی از علامت‌های استفاده شده در طرح پیشنهادی است.

۴-۱- معیارهای پیشنهادی برای محاسبه شایستگی خودرو

شروع ارسال اطلاعات از خودروی مبدا به خودروی مقصد است. در این پژوهش، خودروهای تشکیل دهنده مسیر از میان خودروهایی انتخاب می‌شوند که ثبات و پایداری بیشتری نسبت به سایر خودروهای در حال حرکت دارند و مدل تحرک آنها نیز تطابق مناسب‌تری با جریان ارسال اطلاعات از مبدا به مقصد دارد.

در این بخش سه معیار برای ارزش‌گذاری قابلیت اطمینان خودروهای مسیر معرفی می‌شود و پس از آن با تخصیص ضریب به هر معیار، نحوه محاسبه امتیاز شایستگی برای هر خودرو ارائه می‌گردد. هدف ما در اینجا، انتخاب خودرویی است که بهترین شرایط تعادل، تطابق و پایداری را در مدل ارتباطات شبکه‌ای داشته باشد و بر اساس معیارهای پیشنهادی، خودرو با بهترین سابقه حضور قبلی، مناسب‌ترین سرعت و بیشترین تعداد همسایگان پایدار انتخاب خواهد شد. با توجه به تصویر ارائه شده در شکل (۱)، خودروها در مسیر جاده در فاصله‌های مختلفی از یکدیگر در حال حرکت هستند و با استفاده از امکانات هوشمند، می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار نموده و همچنین سرعت و موقعیت فعلی خود را محاسبه نماید. در روش پیشنهادی از حافظه داخلی خودرو استفاده شده و بعضی از پارامترهای لازم برای تصمیم گیری‌های آتی در حافظه داخلی خودرو نگهداری می‌شود.

۴-۱-۱- معیار اول (سابقه تکرار حضور در مسیر کنونی)

با توجه به اینکه بسیاری از شهروندان در روزها و ساعاتی مشخص، در مسیرهای خاصی تردد می‌کنند، احتمال تکرار حضور خودروها در بعضی از مسیرها وجود دارد و می‌توان از این موضوع برای تشکیل مسیرهای پایدارتر استفاده کرد به نحوی که خودروهای تشکیل دهنده مسیر ارسال پیام، از میان خودروهایی انتخاب شوند که احتمال ادامه مسیر توسط آنها بیشتر از

احتمال خروج آنها از مسیر است [۴۲]. برای انجام این کار، تاریخچه حرکت خودروها در جدولی مطابق با شکل (۲) در حافظه داخلی خودروها سابقه‌نگاری می‌شود. به ازای هر مسیر، یک شناسه در نظر گرفته می‌شود و عبور از هر مسیر با توجه به امکانات GPS قابل تشخیص است [۴۳]. مطابق شکل (۲)، جدول تاریخچه حرکت خودرو[۱۴] (VMH) شامل شناسه مسیر و زمان ورود و خروج خودرو در آن مسیر است که در سه فیلد به نام‌های ROAD.ID، Entrance.time و Departure.time ثبت می‌شود. هر خودرو در زمان ورود به محدوده جغرافیایی که قبلا در آن حضور داشته است، رکوردهای جدول VMH را بروزرسانی می‌نماید. تکرار حضور خودرو در این مسیر، به‌عنوان یک امتیاز و تطابق زمانی با حضور قبلی نیز یک امتیاز مضاعف به حساب می‌آید. محاسبه پارامتر MH_G معادل سوابق حضور قبلی خودرو در مسیر فعلی، مطابق رابطه زیر است:

$$MH_G = \text{Select Count (*) From VMH Where (ROAD.ID= Current Road ID} \quad (۱)$$

محاسبه پارامتر MH_t معادل مشابهت زمانی حضور قبلی خودرو در مسیر فعلی، مطابق رابطه زیر است:

$$MH_t = \text{Select Count } (*) \text{ From VMH Where } (\text{ROAD.ID} = \text{Current Road ID}) \text{ AND}$$
$$\text{(Current time is a time between Entrance.time and Departure.time)} \quad (۲)$$

پارامتر MH_V نیز به‌عنوان شاخص سابقه حرکتی/ زمانی خودرو، مطابق رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$MH_V = \frac{MH_G + MH_t}{2} \quad (۳)$$

برای نرمال سازی MH_V و فراهم‌سازی شرایط استفاده از آن در محاسبه امتیاز شایستگی خودرو، از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$P_{V=} \begin{cases} 1 - \dfrac{1}{2MH_V} & MH_V > 0 \\ 0 & MH_V = 0 \end{cases} \quad (۴)$$

۲-۱-۴- معیار دوم (انطباق سرعت با میانگین هارمونیک سرعت خودروهای همسایه)

هدف از مطرح کردن این معیار، شناسایی خودرویی است که از پایدارترین ارتباط با همسایگانش برخوردار باشد. منظور از پایداری، حرکت خودروها به‌صورت جمعی و در کنار یکدیگر است به گونه‌ای که در طول حرکت، قطعی یا اختلال ارتباطی بین آنها حداقل باشد.

Table (2): Symbols used in this research

جدول (۲): علامت های استفاده شده در این پژوهش

علامت	توضیحات
V_S	خودروی مبدا[۱۵]
V_D	خودروی مقصد[۱۶]
V_{PS}	خودرویی که در گام قبلی بسته اطلاعاتی را ارسال کرده است[۱۷]
V_{CS}	خودرویی که هم اکنون بسته اطلاعاتی را پردازش و ارسال می کند[۱۸]
V_{NS}	خودرویی که در گام بعدی بسته اطلاعاتی را ارسال خواهد کرد[۱۹]
RouteID	شناسه مسیر ارسال اطلاعات بین مبدا تا مقصد (شامل خودروی مبدا، خودروهای میانی، خودروی مقصد)
RoadID	شناسه جاده/خیابان/بزرگراه که خودرو در حال حرکت در آن است
$W_{(i)}$	امتیاز شایستگی خودرو[۲۰]
$W_{(R)}$	امتیاز شایستگی مسیر
V_i.ID	شناسه خودرو
RREQ	پیام درخواست مسیر[۲۱]
RREP	پیام برقراری مسیر[۲۲]

Road.ID	Entrance.time	Departure.time

شکل (۲): فیلدهای جدول تاریخچه حرکت خودرو

Figure (2): The fields of VMH table

میانگین اختلاف سرعت خودرو با خودروهای همجوار، توسط هر خودرو محاسبه می‌شود و با توجه به ارسال پیام‌های دوره‌ای، میانگین به‌دست آمده، با خودروهای همسایه به اشتراک گذاشته می‌شود. اگر سرعت خودروهای همسایه به‌صورت $v_1, v_2, v_3 \ldots, v_n$ باشد، برای محاسبه میانگین هارمونیک، از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$Hm = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{V_i}} \qquad V_i > 0 \qquad (۵)$$

در رابطه فوق نماد Hm بیانگر میانگین هارمونیک، نماد v_i بیانگر سرعت خودروهای همسایه و n، بیانگر تعداد همسایگان است. ضمنا نماد S_{dif} بیانگر میزان اختلاف سرعت خودرو با میانگین هارمونیک سرعت خودروهای همسایه است و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{dif} = |V - Hm| \qquad (۶)$$

برای نرمال سازی S_{dif} و استفاده از آن در محاسبه امتیاز شایستگی خودرو، از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$M_{V=} \begin{cases} \frac{1}{2S_{dif}+1} & S_d > 0 \\ 1 & S_d = 0 \end{cases} \qquad (۷)$$

تفاوت روش پیشنهادی با کارهای قبلی در این است که به‌جای استفاده از میانگین حسابی یا هندسی، از میانگین هارمونیک استفاده می‌کند. مطابق بررسی انجام شده در مرجع [۱۱]، میانگین هارمونیک برای به‌دست آوردن میانگین مقادیری مانند سرعت که برآمده از تفاوت مکان و مسافت در گذر زمان است، مناسب‌تر بوده و عدد دقیق‌تری را به‌عنوان میانگین محاسبه می‌کند.

۳-۱-۴- معیار سوم (تعداد همسایگان قابل اعتماد)

به علت اختلاف سرعت و مقصد خودروها، ممکن است خودروهای متفاوتی در طول حرکت در مسیر، در نزدیکی یکدیگر قرار گیرند. تعداد همسایگان یک خودرو می‌تواند بیانگر ارتباطات بین خودرویی و به‌عنوان معیاری برای قابلیت اطمینان خودرو مدنظر قرار گیرد. ولی خودروهایی که به علت تفاوت سرعت، جهت حرکت یا تغییر مسیر، به‌صورت گذری در کنار هم قرار گرفته‌اند، نباید در شمار همسایگان قابل اعتماد خودرو قرار گرفته و در انتخاب آن به‌عنوان خودروی رله تاثیرگذار باشند. هرچقدر تعداد همسایگان مطمئن خودرو بیشتر باشد، سرعت آنها مشابهت بیشتری داشته و مدت زمان بیشتری را در کنار یکدیگر خواهند بود. هر خودرو با دریافت پیام‌های دوره‌ای، همسایگان فعال خود را تشخیص داده و اطلاعات آنها را در جدول همسایگی ذخیره می‌کند و هنگام دریافت هر پیام، می‌تواند قدرت سیگنال آنها را محاسبه نموده و در جدول مذکور ثبت نماید. اندازه‌گیری قدرت سیگنال در لایه فیزیکی انجام می‌شود و در دسترس لایه‌های بالاتر قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه پیام‌ها بصورت دوره‌ای دریافت می‌شود، لذا می‌توان اطمینان داشت که قدرت سیگنال همسایگان فعال، در فاصله زمانی حداکثر یک پیام دوره‌ای بروزرسانی می‌شود [۴۴]. هنگامی که خودرو از همسایگانش پیام دریافت می‌کند، با استفاده از رابطه زیر، قدرت سیگنال دریافتی را با مقدار قبلی آن مقایسه می‌نماید. نتایج حاصل از این مقایسه، بیانگر دور و یا نزدیک شدن دو خودرو به یکدیگر در فاصله زمانی حداکثر یک پیام دوره‌ای است.

$$S_i = \frac{P_n}{P_n + P_o} \qquad (۸)$$

در رابطه فوق P_o بیانگر قدرت سیگنال قبلی و P_n نشان‌دهنده قدرت سیگنال جدید است. مطابق این رابطه، مقدار S_i که بیانگر میزان پایداری خودروهای همسایه است، عددی بین صفر و یک خواهد بود ($0 < S_i < 1$). هر چه قدرت سیگنال جدید بیشتر از قبل باشد، S_i به سمت یک میل می‌کند [۴۴]. هر چه قدرت سیگنال جدید کمتر از قبل باشد، S_i به سمت صفر میل می‌کند و در صورتی‌که قدرت سیگنال ثابت بماند، مقدار S_i برابر ۰/۵ خواهد بود. برای تنظیم درجه اطمینان، می‌توان با توجه به شرایط، یک مقدار آستانه[۲۳] در نظر گرفت. لذا در صورتی‌که حاصل تقسیم، کمتر از ۰/۵ اما بیشتر از مقدار آستانه باشد، به معنای

کاهش قدرت سیگنال است اما این کاهش، احتمالا موجب قطع ارتباط نخواهد شد. ولی در حالتی‌که نسبت قدرت سیگنال‌های جدید و قدیم، از حد آستانه هم کمتر باشد، به این معنی است که خودروها به سرعت در حال دور شدن از یکدیگر هستند و قطع ارتباط در حال وقوع است. بنابراین مطابق با رابطه زیر، جمع تعداد رکوردهای جدول همسایگی که مقدار S_i در آنها بیشتر از مقدار آستانه باشد، بیانگر تعداد همسایگان قابل اعتماد برای هر خودرو خواهد بود.

$$V_S(t)=\sum_{i=1}^{n} S_i > \text{Threshold} \qquad (۹)$$

در رابطه فوق، i به‌صورت بالقوه نشان‌دهنده همسایه مطمئن یک خودرو است و اگر در زمان t، S_i بیشتر از مقدار آستانه باشد، خودروی i یکی از همسایگان قابل اعتماد به شمار می‌رود. برای نرمال سازی V_S و امکان استفاده از آن در محاسبه وزن تجمیعی، از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$N_R = 1 - \frac{1}{V_S(t)} \qquad (V_S = 1 \quad \text{if there is no stable neighbor}) \qquad (۱۰)$$

۴-۲- محاسبه امتیاز شایستگی

در مدل پیشنهادی، هر خودرو دارای یک جدول اطلاعاتی به نام جدول وضعیت است که شامل اطلاعاتی از وضعیت کنونی خودرو است و از سه فیلد تشکیل شده است: P_V یا سابقه حرکتی-زمانی خودرو، M_V یا میزان فاصله سرعت خودرو با میانگین هارمونیک خودروهای همسایه، N_R یا تعداد همسایگان مطمئن هر خودرو. ضمنا با توجه به ضرایبی که برای هر کدام از این معیارها تعریف می‌شود، می‌توان ضریب اهمیت این معیارها را با توجه به شرایط محیطی و ترافیکی تغییر داد. تعیین یا تغییر این ضرایب برای خودروهای مسیر، باید توسط سیستم حمل و نقل هوشمند انجام شود. لذا در زمان‌هایی که خودروها تحت پوشش RSU قرار بگیرند، امکان تنظیم‌مجدد[۲۴] ضرایب مهیا می‌گردد. امتیاز شایستگی هر خودرو یا W(v)، بر اساس پارامترهای قبلی به شرح زیر محاسبه می‌شود (با هدف انتخاب خودروی رله با بهترین سابقه حضور قبلی، مناسب‌ترین سرعت و بیشترین تعداد همسایه پایدار):

$$W(v) = (C_1 \times P_V) + (C_2 \times M_V) + (C_3 \times N_R) \qquad (۱۱)$$

که در آن P_V سابقه حضور قبلی خودرو در محدوده مکانی/زمانی فعلی، M_V میزان فاصله سرعت خودرو با میانگین هارمونیک خودروهای مجاور و N_R تعداد همسایگان قابل اعتماد است. برای تغییر میزان تاثیر شاخص‌ها در شرایط ترافیکی مختلف، معادله $C_1+C_2+C_3=1$ نیز برای ضرایب معیارهای سه گانه برقرار است. پس از محاسبه امتیاز شایستگی خودروها و به اشتراک-گذاری آنها در بسته RREQ، مسیری که از خودروهای شایسته‌تری تشکیل شده باشد، انتخاب می‌شود. فرایند تشکیل مسیر، در بخش آتی توضیح داده می‌شود. لازم به ذکر است با توجه به پارامترهای مورد محاسبه، معیار «سابقه حضور قبلی خودرو در محدوده مکانی/زمانی فعلی» یک معیار گذشته‌نگر، معیار «تعداد همسایگان قابل اعتماد» یک معیار حال‌نگر و معیار «میزان فاصله سرعت خودرو با میانگین هارمونیک خودروهای همسایه» یک معیار آینده‌نگر است و استفاده از این سه معیار به‌صورت ترکیبی، باعث افزایش قابلیت اطمینان مدل مسیریابی از جنبه های متعدد می‌گردد.

۴-۳- مراحل درخواست تا تشکیل مسیر

در RRRM، مسیر از مبدا تا مقصد فقط در صورت نیاز ایجاد می‌شود و تا زمانی‌که کلیه داده‌ها ارسال شوند، فعال است. خودروی مبدا، در زمان درخواست مسیر، پیام درخواست مسیر را به همسایگان ارسال می‌کند تا امکان ادامه ارسال بسته‌ها به سوی مقصد، مهیا شود. برای جلوگیری از ایجاد حلقه و یا ایجاد مسیرهای متعدد و بلااستفاده، خودروهای رله، بسته درخواست مسیر (با شناسه مشخص) را که قبلا به سمت مقصد ارسال کرده باشند، مجددا ارسال نمی‌کنند. در ادامه، فرایندهای ارسال درخواست مسیر از خودروی مبدا، دریافت و بررسی پیام درخواست مسیر توسط خودروهای میانی و در نهایت تشکیل مسیر و ارسال بسته پاسخ به مسیر توضیح داده می‌شود. شکل (۳)، مراحل اصلی ارسال پیام درخواست مسیر از خودروی مبدا به خودروی مقصد در انتخاب گره رله قابل اعتماد برای پیام‌رسانی بلادرنگ را نشان می‌دهد.

الگوریتم ۱- مقداردهی اولیه خودروی مبدا و ارسال پیام درخواست مسیر

```
1  V_S.ID ← V_i.ID
2  receive (Periodic message)
3  update Neighbor table
4  if V_D in the Neighbor Table then
5    send data to V_D
6  else
7    set W_(R) = 0
8    send RREQ (V_S.ID, V_D.ID, W_(R)) to Neighbors
9    wait for RREP message
10 end if
```

الگوریتم ۲- دریافت پیام درخواست مسیر توسط خودروهای میانی

```
1  receive (RREQ message)
2  if RREQ message has already been received then
3    calculate Route worthiness mean based on Eq.12
4      if MWi._New > MWi._Previous then
5        Go to line 10
6      else
7        Ignore it
8      end if
9  else
10   get V_i (position, velocity)
11     calculate Vehicle History Movement based on Eq.4
12     calculate Harmonic mean based on Eq.7
13     calculate Reliable neighbor number based on Eq.10
14     calculate W_(i) based on Eq.11
15   set W_(R) = W_(R) + W_(i)
16   if V_D in the Neighbor Table then
17     send RREQ message to V_D
18   else if Neighbor table has no valid record then
19     wait for first neighbor to send RREQ
20   else
21     send RREQ (V_S.ID, V_D.ID, W_(R)) to Neighbors
22     wait for RREP message
23   end if
24 end if
```

الگوریتم ۳- دریافت پیام درخواست مسیر در مقصد و ارسال پیام تشکیل مسیر

```
1  receive (RREQ messages)
2  wait for a Threshold Time
3  update Routes table
4  calculate Route worthiness mean based on Eq.12 and order Routes table by MWi
5  select Route that has maximum MWi
6  if there are more RREQs with the maximum value of MWi then
7    select RREQ with less Hop Count
8  end if
9  send RREP (V_S.ID, V_D.ID, W_(R), Route Sequence)
10 wait for Data from V_S
```

۱-۳-۴- مقداردهی اولیه خودروی مبدا و ارسال پیام درخواست مسیر

در الگوریتم ۱ مقداردهی اولیه خودرو در زمان درخواست مسیر انجام می‌شود و پس از دریافت پیام دوره‌ای همسایگان، اطلاعات جدول همسایگی خودرو بروزرسانی می‌شود. درصورتی‌که خودروی مقصد در لیست همسایگان باشد، ارسال اطلاعات به مقصد مستقیما انجام می‌شود. درصورتی‌که خودروی مقصد در لیست همسایگان نباشد، خودروی مبدا با استفاده از یک پیام

درخواست مسیر، اطلاعات لازم از جمله شناسه خودروهای مبدا و مقصد و همچنین امتیاز شایستگی مسیر را برای همسایگانش ارسال می‌کند و منتظر دریافت یک پیام RREP می‌شود. با توجه به اینکه امتیاز شایستگی مسیر از مجموع امتیاز شایستگی خودروهای میانی محاسبه می‌گردد، $W_{(R)}$ در ابتدا با صفر مقداردهی می‌شود.

۲-۳-۴- دریافت پیام درخواست مسیر توسط خودروهای میانی

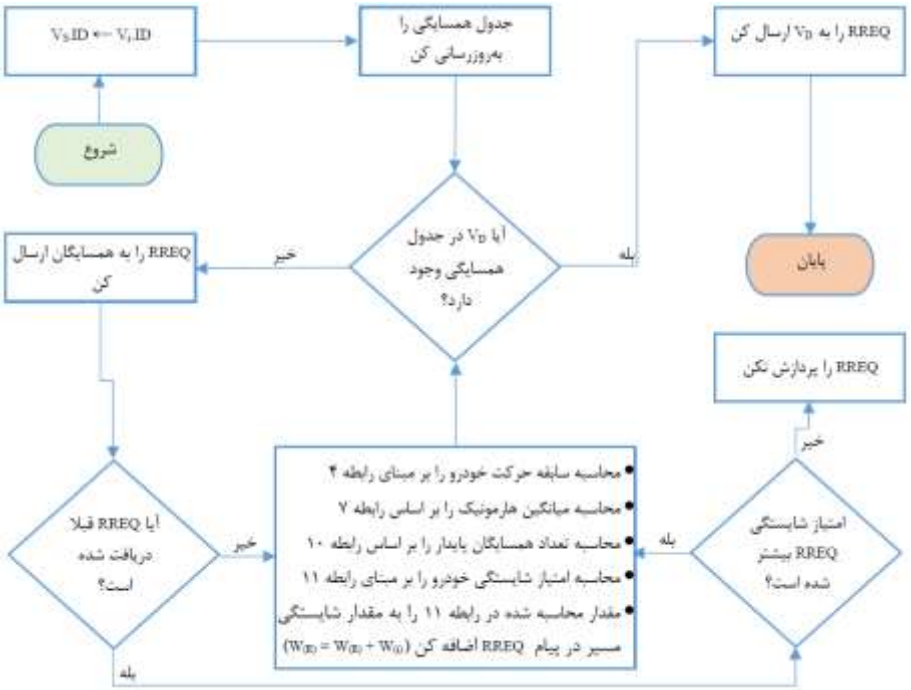
در الگوریتم ۲، پیام درخواست مسیر توسط خودروی میانی دریافت و بررسی می‌شود. در ابتدا بررسی می‌شود که این پیام درخواست مسیر قبلا دریافت نشده باشد و در صورتی‌که قبلا این پیام را دریافت کرده باشد، آن را پردازش نمی‌کند. در صورتی که این پیام RREQ قبلا پردازش نشده باشد، با دریافت سرعت و موقعیت مکانی خود و با کمک رابطه‌های (۴)، (۷) و (۱۰)، مقادیر لازم برای محاسبه امتیاز شایستگی را به‌دست می‌آورد. سپس با استفاده از رابطه (۱۱)، امتیاز شایستگی خود را محاسبه و آن را به مقدار شایستگی مسیر در پیام RREQ یعنی $W_{(R)}$، اضافه می‌کند. درحالتی که خودروی مقصد در لیست همسایگانش باشد، پیام درخواست مسیر را به خودروی مقصد ارسال می‌کند. در صورتی‌که خودروی مقصد در لیست همسایگان نباشد، پیام درخواست مسیر را برای همسایگانش ارسال می‌کند و منتظر دریافت یک پیام RREP می‌شود. در صورتی‌که هیچ خودروی دیگری در محدوده انتقالش نباشد، مطابق خط ۱۸ و ۱۹ الگوریتم ۲، منتظر حضور اولین خودرو در محدوده انتقال می‌ماند تا پیام RREQ را برای آن ارسال نماید. ضمنا با هدف انتخاب مسیر با بیشترین قابلیت‌اطمینان، وقتی که یک خودروی میانی بسته RREQ را دریافت می‌کند، با توجه به شناسه منحصربفرد بسته، در صورتی‌که قبلا این بسته را دریافت کرده باشد، با استفاده از رابطه (۱۲)، امتیاز شایستگی آن را مجددا بررسی می‌کند. اگر MWi یا مقدار متوسط امتیاز شایستگی، بزرگتر از مقدار قبلی آن باشد، بیانگر این است که بسته RREQ از مسیر مطمئن‌تری دریافت شده است، لذا پس از محاسبه امتیاز شایستگی خود و افزودن آن به $W_{(R)}$، بسته RREQ را مجددا به خودروهای همسایه ارسال می کند. در غیر این‌صورت برای جلوگیری از افزایش سربار کنترلی و ایجاد حلقه، بسته RREQ تکراری را حذف می‌کند. این موارد در خط‌های ۲ تا ۸ در الگوریتم ۲ بیان شده است.

$$MW_i = \frac{W_{(R)}}{\text{Hop Count}} \qquad (۱۲)$$

در رابطه (۱۲)، MWi نشان‌دهنده متوسط میزان شایستگی، $W_{(R)}$ بیانگر مقدار شایستگی مسیر (شامل مجموع امتیاز شایستگی خودروهای میانی) و Hop Count بیانگر تعداد گام های مسیر است.

۳-۳-۴- پردازش پیام درخواست مسیر در مقصد و تشکیل مسیر

در الگوریتم ۳، فرایند دریافت بسته‌های RREQ و بررسی آنها بیان شده است. با توجه به فاصله بین مبدا و مقصد و تعداد خودروهای میانی، ممکن است پیام‌های RREQ متعددی که شامل خودروهای میانی متفاوتی هستند، به مقصد برسد. با توجه به اینکه مسیر بین مبدا و مقصد از خودروهای میانی تشکیل شده است، انتخاب مناسب‌ترین خودروهای میانی بر اساس امتیاز شایستگی، منجر به انتخاب بهترین مسیر خواهد شد. برای دستیابی به این منظور، زمانی‌که پیام‌های RREQ به مقصد می‌رسد، خودروی مقصد، با استفاده از رابطه (۱۲)، امتیاز شایستگی هر مسیر را به تعداد گام‌های آن تقسیم می‌کند تا متوسط میزان شایستگی (MWi) برای هر مسیر به‌دست آید. سپس با مقایسه متوسط میزان شایستگی مسیرها، بسته RREQ با بالاترین امتیاز را انتخاب کرده و برای آن پیام RREP ارسال می‌کند. لازم به ذکر است، مسیری که بیشترین امتیاز شایستگی را کسب کرده باشد، خودروهای میانی آن از امتیاز شایستگی بالاتری برخوردار هستند. ضمنا برای مقایسه میزان شایستگی مسیرها با استفاده از رابطه (۱۲)، امتیاز شایستگی هر مسیر به تعداد گام‌های آن مسیر، تقسیم می‌شود. با توجه به اولویت‌گذاری روش پیشنهادی در انتخاب مسیر با بیشترین قابلیت اطمینان، تنها در صورتی‌که نتیجه رابطه (۱۲) برای دو مسیر یکسان باشد، مسیر با گام کمتر انتخاب می‌شود.



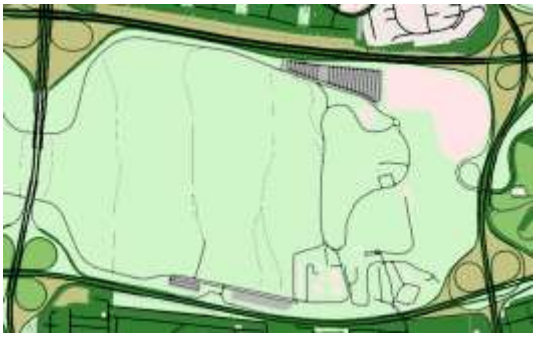
شکل (۳): مراحل اصلی ارسال پیام درخواست مسیر از خودروی مبدا به خودروی مقصد در انتخاب گره رله قابل اعتماد برای پیام‌رسانی بلادرنگ

Figure (3): The main steps of sending a route request message from the source vehicle to the destination vehicle in RRRM

(الف) بخشی از خیابان‌های تهران

(ب) نقشه ساده شده تصویر الف، در سومو

(ج) بخشی از بزرگ‌راه‌های تهران



(د) نقشه ساده شده تصویر ج، در سومو

شکل (۴): تصاویر سناریوی شبیه‌سازی شده شهری و بزرگ‌راهی

Figure (4): Simulated urban and highway scenarios: part of Tehran's streets and highways, a, c) Simplified map of urban, b,d) Highway route network

۴-۴- ترمیم مسیر

حرکت دائمی خودروها و شرایط متغیر جاده‌ای روی ثبات اجزای مسیر تاثیر می‌گذارد و ممکن است در حین انتقال بسته‌ها، خودروهای میانی تغییر نمایند. لذا ترمیم مسیر را در حالت V2V بررسی می‌شود. در زنجیره ارسال اطلاعات V2V، خودرویی که دارای نقش V_{CS} (ارسال کننده کنونی) است، پیام را از خودروی V_{PS} دریافت کرده و آن را برای خودروی V_{NS} ارسال خواهد کرد. در فاز آخر برقراری مسیر و در هنگام بازگرداندن پیام RREP از خودروی مقصد به مبدا، هر خودروی میانی در زمان ارسال RREP، خودروی V_{NS} خود را نیز به خودروی V_{PS} معرفی می‌کند. به این ترتیب هر خودرو، ارسال‌کننده‌های دو گام بعد از خودش را نیز می‌شناسد و شناسه آنها را در اختیار دارد. در زمان عدم دسترسی به هر یک از خودروهای میانی، می‌توان با در نظر گرفتن امتیاز شایستگی همسایگان، یک خودروی دیگر را جایگزین آن نمود. به این ترتیب که در تبادل پیام‌های دوره‌ای، عدم دسترسی به خودروی V_{NS} مشخص می‌شود و به جای آن، خودرویی که بالاترین امتیاز شایستگی را در بین همسایگان دارد به‌عنوان V_{NS} انتخاب می‌شود. در این زمان، شناسه خودروی ارسال کننده دو گام بعدی نیز برای خودروی جدید ارسال شده تا خودروی V_{NS} جدید بداند که باید داده‌ها را برای کدام خودرو ارسال کند. به این ترتیب زنجیره ارسال اطلاعات تصحیح شده و گام های مسیر در وضعیت پایدار قرار می‌گیرند.

۵- ارزیابی کارایی

برای ارزیابی کیفیت و کارایی روش پیشنهادی و قابلیت تعمیم پذیری آن، سناریوهای متعددی مشابه با شرایط واقعی محیط شهری و بزرگ‌راهی، طراحی و شبیه‌سازی شده است. به منظور ایجاد سناریوهای واقع بینانه، جریان‌های مختلف خودروها را با الگوهای حرکتی متفاوت تعریف کرده‌ایم. جریان خودروها محدوده سرعت متفاوتی دارند و مسیرهای متفاوتی را طی می‌کنند که منجر به تغییرات مکرر در اعضای مسیر می‌شود و این اطمینان را ایجاد می‌کند که خودروهای تشکیل دهنده مسیر، همان‌طور که در دنیای واقعی اتفاق می‌افتد، تغییر می‌کنند. این فرض به ارزیابی واقعی پروتکل پیشنهادی کمک می‌کند. در این بخش، عملکرد پروتکل پیشنهادی با استفاده از شبیه‌سازهای سومو و NS-3 ارزیابی می‌شود. سومو [۴۵] یک ابزار شبیه‌سازی متن باز است که برای ثبت جزئیات حرکت وسایل-نقلیه در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، در این شبیه‌سازی، سناریوی شهری و بزرگ‌راهی، مبتنی بر نقشه واقعی بخشی از خیابان‌ها و بزرگ‌راه‌های شهر تهران در نظر گرفته شده است. در ابتدا، از نقشه خیابان باز[۲۵] (OSM) [۴۶] برای استخراج اطلاعات شبکه جاده‌ای منطقه مورد نظر استفاده شده است. سپس، با استفاده از سومو، حرکت وسایل-نقلیه در مسیرها و با محدوده سرعت مشخص شده برای محیط شهری و بزرگ‌راهی شبیه‌سازی می‌شود. خروجی سومو، یک فایل tcl است که توصیف کاملی از مسیر و اطلاعات حرکت خودروها را که شامل سرعت و موقعیت آنها می‌شود، ثبت می‌کند. برای شبیه‌سازی عملکرد پروتکل مسیریابی، فایل tcl مذکور به‌عنوان اطلاعات ورودی به NS-3 داده می‌شود. چندین شبیه‌سازی در سومو اجرا شده است که در آنها، تعداد وسایل-نقلیه و سرعت آنها با توجه به محیط شهری و بزرگ‌راهی متفاوت است. برای ایجاد شرایط واقعی ترافیک جاده‌ای، مدل تحرک دنبال ماشین[۲۶] در سومو انتخاب شده است. قبل از شروع شبیه‌سازی، وسایل-نقلیه به‌صورت تصادفی توزیع می‌شوند و با شروع شبیه‌سازی، وسایل-نقلیه با محدوده سرعتی تعیین شده در مسیرها شروع به حرکت می‌کنند. علاوه بر این، وسایل-نقلیه از شبکه جاده خارج نمی‌شوند، بلکه در تمام مدت شبیه‌سازی، در مسیر باقی می‌مانند. تصاویر (۴-ب) و (۴-د)، نمایش تصویری تبدیل OSM به ترافیک زمان واقعی با استفاده از سومو را نشان می‌دهند. دستورهای مورد نیاز برای جابجایی خودروها در NS-3، با استفاده از نرم‌افزار سومو تولید گردید. برای این کار، دو نقشه واقعی از خیابان‌ها و اتوبان‌های تهران مطابق شکل (۴) به‌عنوان ورودی به سومو داده شده است. سپس نرم‌افزار سومو دستورهای جابجایی خودروها را تولید می‌نماید. نرم‌افزار سومو برای تولید دستورهای جابجایی خودروها از یک مدل تحرک دنبال ماشین به نام کراوس[۲۷] استفاده می‌کند که رفتار خودروها در هنگام جابجایی را مدل‌سازی می‌نماید. جابجایی هر خودرو در مدل کراوس، به‌صورت یک تابع از مکان و سرعت خودروهای همسایه آن توصیف می‌شود. در این مدل، تلاش بر این است که سرعت خودروها، پایین‌تر از سرعت امن[۲۸] نگه داشته شود، به گونه ای که فاصله بین خودروی جلو و خودروی پس از آن، همواره بزرگتر از فاصله مطلوب[۲۹] باشد.

برای تولید دستورهای جابجایی، میانگین سرعت خودروها را به‌عنوان یک ورودی به سومو می‌دهیم. سپس نرم افزار سومو را پیکربندی می‌کنیم تا مسیرها را بر پایه الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر دایجکسترا[۳۰] تولید نماید. ضمنا انتخاب مبدا و مقصد خودروها در سومو نیز به‌صورت تصادفی است. جدول (۳) پارامترهای مهم در شبیه‌سازی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. اجرای هر سناریوی شبیه‌سازی، ۳۰۰ ثانیه طول می‌کشد و هر سناریو نیز، ۱۰ بار اجرا می‌شود. نتیجه نهایی بر اساس میانگین نتایج ۱۰ بار اجرای هر سناریو است. معیار انتخاب خودروها برای تشکیل مسیر از مبدا تا مقصد، «شایستگی» نامیده می‌شود که به‌طور منظم در پیام های دوره‌ای بین خودروها منتقل می‌شود و خودروهای دارای بیشترین مقدار شایستگی در بین همسایگان، برای تشکیل مسیر واجد شرایط می‌شوند.

۱-۵- معیارهای عملکرد

معیارهای زیر برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی استفاده شده است:

الف- سربار مسیریابی: سربار مسیریابی به میزان ارسال پیام‌های کنترلی برای تشکیل و نگهداری مسیر اطلاق می‌شود. مطابق رابطه (۱۳)، این معیار، بیانگر درصد بسته‌های کنترلی به کل بسته‌های منتقل شده در مسیر است. مقدار کمتر سربار، بیانگر عملکرد بهتری از الگوریتم مسیریابی است. سربار مسیریابی با کمک رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Routing Overhead}=\frac{\sum(\text{Control Packets})}{\sum(\text{Control Packets})+\sum(\text{Data Packets})} \quad (۱۳)$$

ب- میزان شکست مسیر: برای اطمینان از ارسال داده‌ها به‌صورتی قابل اعتماد، باید به پایداری مسیر اولویت بیشتری داده شود. لذا الگوریتم مسیریابی مطمئن باید بتواند تعداد دفعات شکست مسیر را به حداقل برساند. شکست مسیر در روش پیشنهادی، با تعیین تعداد دفعاتی که وسایل-نقلیه میانی در مسیر تغییر می‌کنند، ارزیابی شده است. تعداد کمتر تغییرات وسایل-نقلیه میانی مسیر، نشان دهنده عملکرد بهتر مسیریابی و متوسط طول عمر بالاتر برای مسیر است.

ج- نسبت تحویل بسته: این معیار نشان دهنده درصد بسته‌هایی است که با موفقیت به مقصد تحویل داده شده‌اند:

$$\text{PDR} = \frac{\sum(\text{Number of received packets})}{\sum(\text{Number of sent packets})} * 100 \quad (۱۴)$$

مقدار بیشتر نسبت تحویل بسته[۳۱] (PDR)، عملکرد بهتر روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. در این مقاله PDR نشان دهنده انتقال موفقیت آمیز اطلاعات از خودروی مبدا به خودروی مقصد است و مطابق رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود.

Table (3): Simulation parameters in urban and highway environments

جدول (۳): پارامترهای شبیه‌سازی در محیط شهری و بزرگ‌راهی

پارامتر	شهری	بزرگ‌راهی
منقطه شبیه‌سازی	۵ × ۲۰۰۰ (متر مربع)	۱۰ × ۵۰۰۰ (متر مربع)
زمان شبیه‌سازی	۳۰۰ ثانیه	
تعداد تکرار هر سناریو	۱۰	
مدل انتشار	Two-ray Ground	
مدل تحرک	مدل تحرک دنبال ماشین	
پروتکل MAC	۸۰۲.۱۱ P	
نوع ارتباط (ترافیک)	UDP	
نرخ انتقال	۱۰ مگابیت بر ثانیه	
پهنای باند کانال	۱۰ مگاهرتز	
تعداد خودروها	۵۰ تا ۲۵۰	
محدوده انتقال	۱۰۰ تا ۳۰۰ متر	
سرعت خودروها	۱۰ تا ۵۰ کیلومتر بر ساعت	۸۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت
حداکثر سرعت مجاز خودروها	۷۰ کیلومتر بر ساعت	۱۳۰ کیلومتر بر ساعت
اندازه بسته‌های اطلاعاتی	۲۰۰ کیلوبایت	

د- تأخیر انتها-به-انتها: تأخیر انتها-به-انتها، میانگین زمانی است که یک بسته از مبدا به مقصد برسد. در این مقاله، تاخیر انتها-به-انتها به‌عنوان متوسط زمان لازم برای ارسال یک بسته از خودروی مبدا به خودروی مقصد در نظر گرفته می‌شود و مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{End to End Delay} = \frac{\sum(\text{arrivetime-sendtime})}{\sum(\text{Number of sent messages})} \quad (۱۵)$$

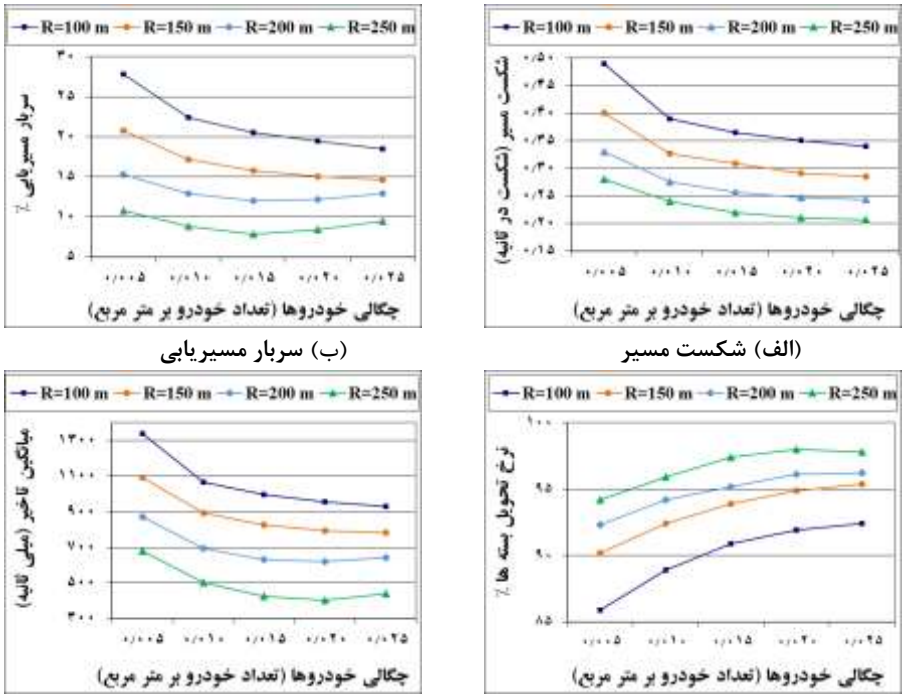
۵-۲- نتایج شبیه‌سازی

با توجه به لزوم انجام شبیه‌سازی‌های گسترده برای بررسی میزان تعمیم‌پذیری روش پیشنهادی، نتایج تحلیل و ارزیابی انجام شده در سه بخش مجزا ارائه می‌گردد.

- در بخش اول، عملکرد روش پیشنهادی با تغییر شرایط محیطی و تغییر پارامترهای شبیه‌سازی بررسی و ارائه می‌گردد.
- در بخش دوم با تعریف سناریوهای مرتبط با شرایط واقعی مسیرهای شهری، عملکرد روش پیشنهادی با چندین روش مطرح اخیر مورد بررسی قرار می‌گیرد. الگوریتم‌هایی که برای مقایسه با RRRM انتخاب شده‌اند، روش‌های مسیریابی با انتخاب تقاطع چندگانه[۳۲] (MISR) [۴۶]، مسیریابی فرصت طلبانه با پخش پیام‌های دوره‌ای تطبیقی[۳۳] (ABOR) [۲۰] و مسیریابی مبتنی بر هدف و پیش‌بینی تحرک[۳۴] (TDMP) [۴۷] هستند. روش‌های TDMP و MISR که بر پایداری مسیر تاکید دارند و روش ABOR نیز بر کاهش پیام‌های دوره‌ای و سربار کنترلی تمرکز دارد.
- در بخش سوم نیز عملکرد RRRM در سناریوهای محیط بزرگ‌راهی، با روش های مذکور مورد مقایسه و بررسی قرار می‌گیرد.

۵-۲-۱- بررسی عملکرد روش پیشنهادی با تغییر چگالی و محدوده انتقال خودروها

برای انجام این بررسی، از شبکه جاده‌ای در تصویر شکل (۴-ب) استفاده شده است که تعداد ۵۰ تا ۲۵۰ خودرو در آن شبیه‌سازی می‌شوند. سرعت حرکت خودروها در این سناریو بین ۳۰ تا ۵۰ کیلومتر در ساعت متغیر است. در نمودار شکل (۵-الف)، میزان شکست مسیر در مقادیر مختلف برای چگالی خودروهای مسیر و همچنین محدوده انتقال متفاوت نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میزان شکست مسیر با افزایش محدوده انتقال کمتر می‌شود. علت این است که افزایش محدوده انتقال موجب اتصال بیشتر خودروهای تشکیل دهنده مسیر می‌شود. ولی افزایش چگالی خودروها اثری دوگانه بر میزان شکست مسیر دارد. در چگالی‌های کمتر، احتمال قطع اتصال در اثر حرکت در مسیر، بیشتر می‌شود و لذا میزان شکست مسیر نیز بیشتر است. در چگالی ۰/۰۲۵ برای محدوده انتقال ۲۵۰ متر، به علت وجود بیشترین تعداد همسایه در محدوده انتقال خودروهای مسیر، کمترین میزان شکست مسیر، معادل ۰/۲۰۷ شکست بر ثانیه رخ می‌دهد. نمودار (ب)، تاثیر چگالی و محدوده انتقال خودروها بر سربار مسیریابی روش RRRM را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، سربار مسیریابی با محدوده انتقال خودروها نسبت عکس دارد. افزایش محدوده انتقال، با توجه به اینکه اتصال خودروها به شبکه را افزایش می‌دهد، منجر به کاهش تغییرات شده و در نتیجه سربار نگهداری مسیر را کاهش می‌یابد. سربار مسیریابی با چگالی خودروها نسبتی دوگانه دارد. در زمانیکه محدوده انتقال خودروها ۱۰۰ و ۱۵۰ متر است، افزایش چگالی خودروها موجب اتصال و پایداری بیشتر شده و سربار کنترلی به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. در محدوده انتقال ۲۰۰ و ۲۵۰ متر، با افزایش چگالی خودروها، در ابتدا سربار کنترلی کاهش می‌یابد ولی در چگالی بیش از ۰/۰۱۵ خودرو بر متر مربع، به علت افزایش تعداد خودروها در محدوده انتقال یکدیگر، تعداد و حجم پیام های تبادلی، افزایش یافته و سربار کنترلی جهت تشکیل و نگهداری مسیر بهینه، یک روند افزایشی ملایم دارد. همان‌طور که در نمودار ملاحظه می‌شود، سربار کنترلی RRRM در بهترین حالت ۷/۸ درصد و در بدترین حالت ۲۷/۸ درصد است. در بخش‌های آتی، سربار کنترلی RRRM در سناریوهای شهری و بزرگ‌راهی با روش های دیگر مقایسه و نتایج آن ارائه می‌گردد. در نمودار (ج)، زمانی‌که محدوده انتقال خودروها در مقدار حداقلی، یعنی R برابر ۱۰۰ متر و همچنین چگالی خودروها در مسیر به میزان حداقلی ۰/۰۰۱ است، PDR کوچک است.



(الف) شکست مسیر (ب) سربار مسیریابی

(ج) نرخ تحویل بسته‌ها (د) میانگین تاخیر

شکل (۵): نمودارهای روند شکست مسیر در شرایط تغییر تعداد و محدوده انتقال خودروها

Figure (5): Diagrams of the trend in conditions of changing the density and transmission range of vehicles, a) Route failure, b) Routing overhead, c) Packet delivery ratio, d) Average delay

نابراین تعداد حداقلی خودروها در مسیر به همراه محدودیت R نمی‌تواند منجر به ایجاد مسیر پایدار گردد. با افزایش تعداد خودروها و مخصوصا محدوده انتقال آنها، اتصال شبکه بهبود می‌یابد و PDR در بهترین حالت می تواند به ۹۸ درصد برسد. نرخ رشد کمتر در چگالی‌های بالاتر، بیانگر افزایش تراکم خودروها و تعدد پیام‌های تبادلی و تاثیرات جزئی بر PDR است. در نمودار (د) نیز میزان تأخیر RRRM با تغییر چگالی خودروهای مسیر و همچنین تغییر محدوده انتقال آنها نشان داده شده است. در اینجا حداقل تاخیر تقریبا زمانی رخ می‌دهد که چگالی خودروها معادل ۰/۰۲ باشد. این نتیجه بیانگر این مطلب است که در این شبیه‌سازی، چگالی ۰/۰۲ برای خودروها، می تواند نقطه تعادلی برای تراکم شبکه و سرعت انتقال اطلاعات باشد. زیرا تعداد خودروهای کمتر منجر به کاهش اتصال و افزایش شکست مسیر و در نتیجه تاخیر زمان بیشتری برای ارسال اطلاعات می‌شود، درحالی‌که افزایش چگالی خودروها در محدوده انتقال بالاتر، منجر به برخورد بسته‌ها، تاثیرات متقابل بر گره‌های میانی، تغییرات در مسیر بهینه و در نتیجه افزایش ملایم روند تاخیر می‌شود. در شرایطی که تعداد خودروها یکسان باشد، محدوده انتقال بزرگتر باعث کاهش تأخیر می‌شود، زیرا با افزایش R، تعداد گام‌های مسیر بین خودروی مبدا و مقصد کاهش یافته و بر همین اساس، تاخیر نیز کاهش می‌یابد.

۲-۲-۵- بررسی عملکرد روش پیشنهادی در سناریوی شهری

برای انجام این بررسی، از شبکه جاده‌ای در تصویر (۴-ب) استفاده شده است. همان‌طور که در جدول (۳) اشاره شد، شبیه-سازی در این بخش با پارامترهای متناسب با محیط شهری انجام شده و سه ارزیابی به شرح زیر صورت گرفته است:

۱) تغییر چگالی خودرو در مسیر، به‌صورت طیفی از پراکنده تا متراکم: در طول و عرض جغرافیایی مشخص شده برای شبیه-سازی محیط شهری، تعداد خودروهای مسیر از ۵۰ تا ۲۵۰ افزایش یافته و آثار آن مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۲) تاثیر تغییر سرعت خودروها: تغییر سرعت خودروها نیز بر اساس شرایط مسیرهای شهری تنظیم می‌شود و سرعت خودروها از ۱۰ تا ۵۰ کیلومتر بر ساعت افزایش یافته و تاثیر آن، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

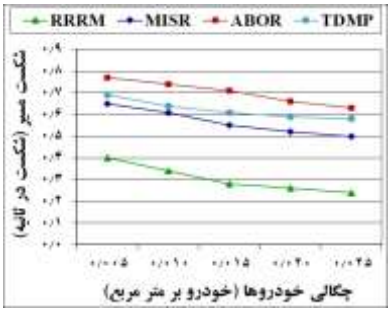
۳) تغییر محدوده انتقال خودروها از ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر: محدوده انتقال خودروها در محیط شهری از ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر تغییر می‌یابد تا اثر آن بر کیفیت روش‌های مورد مطالعه مشخص گردد. نتایج ارزیابی انجام شده با سه متغیر فوق، در چهار معیار عملکردی شامل «شکست مسیر»، «سربار مسیریابی»، «نسبت تحویل بسته» و «میانگین تأخیر انتها-به-انتها» در محیط شهری به شرح ذیل بیان می‌گردد.

۵-۲-۲-۱- شکست مسیر در سناریوی شهری

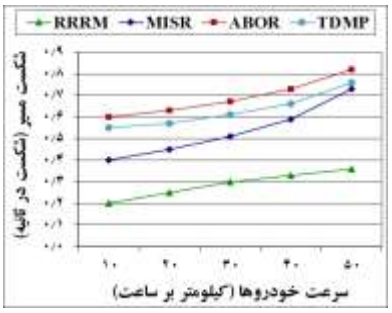
در شبکه‌های خودرویی، شکست مسیر به میزان کمتر، بیانگر پایداری و قابلیت اطمینان روش مسیریابی است زیرا افزایش شکست مسیر و تغییر گره‌های میانی، تعداد بسته‌های کنترلی و سربار ارتباط را افزایش داده و باعث افزایش تاخیر و کاهش PDR می‌گردد. در نمودارهای (الف)، (ب) و (ج) در شکل (۶)، سناریوی محیط شهری برای تحلیل میزان شکست مسیر با تغییر سه عامل چگالی، سرعت و محدوده انتقال وسایل-نقلیه انجام شده و روش پیشنهادی با سه روش دیگر مقایسه شده است. نمودارهای شکل (۶) نشان می‌دهند که شکست مسیر با سرعت خودروها نسبت مستقیم ولی با چگالی و محدوده انتقال آنها، نسبت معکوس دارد. در چگالی پایین به علت کاهش اتصال بین خودروها، میزان شکست مسیر در همه روش‌ها قابل توجه است ولی با افزایش چگالی و بهبود اتصال، شکست مسیر کاهش می‌یابد. در RRRM، میزان شکست مسیر حتی در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت، پایین‌تر از ۰.۴ شکست بر ثانیه است. این معیار در زمانی‌که چگالی خودروها به حداکثر می‌رسد نیز اختلاف قابل توجهی با بهترین نتیجه به‌دست آمده توسط روش‌های مورد مقایسه دارد و در بالاترین چگالی، میزان شکست مسیر در MISR بیش از دو برابر روش پیشنهادی است. دلیل عمده این نتیجه این است که مسیرهای تشکیل شده در این روش‌ها از پایداری مطلوب برخوردار نیستند و تغییرات مکرر خودروهای رله، شکست مسیر را افزایش می‌دهد. لذا کارایی روش‌های مورد بررسی در سرعت و چگالی بالا، از کفایت لازم برخوردار نیست. با افزایش سرعت خودروها در مسیر و با توجه به اینکه خودروها سریعتر از محدوده انتقال یکدیگر خارج می‌شوند، احتمال شکست مسیر بیشتر می‌شود. همان‌طور که در نمودار (ب) مشخص است، میزان شکست مسیر برای روش‌های TDMP، MISR و ABOR سیر صعودی داشته و بسیار بیشتر از RRRM است. نقطه متمایز دیگر در نمودار (ب) این است که در RRRM، روند صعودی میزان شکست مسیر، از شتاب کمتری برخوردار بوده و با افزایش سرعت خودروها، تغییرات متعدد در اعضای مسیر رخ نمی‌دهد. علت پایداری متمایز روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها را می بایست در معیارهای انتخاب خودروهای رله جستجو کرد که در واقع هر سه معیار پیشنهادی بر افزایش پایداری و قابلیت اطمینان آنها تمرکز دارد. در نمودار (ج) مشخص می‌شود که با افزایش محدوده انتقال خودروها، اتصال بین آنها بیشتر شده و پایداری مسیر افزایش می‌یابد. میزان این پایداری در روش RRRM از سایر روش‌ها بالاتر است.

۵-۲-۲-۲- سربار مسیریابی در سناریوی شهری

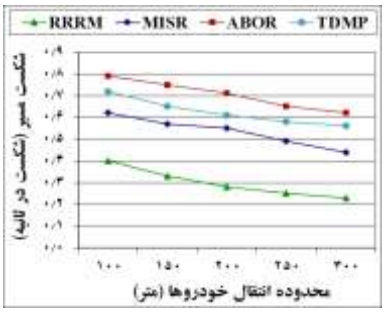
در نمودارهای (الف)، (ب) و (ج) در شکل (۷)، سناریوی محیط شهری برای تحلیل سربار مسیریابی با تغییر سه عامل چگالی، سرعت و محدوده انتقال وسایل-نقلیه انجام شده است. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که تغییر سرعت خودروهای مسیر، با سربار مسیریابی، نسبت مستقیم دارد ولی افزایش محدوده انتقال منجر به کاهش سربار مسیریابی می‌شود. تغییرات چگالی نیز رفتاری دوگانه با سربار کنترلی دارد. در این شبیه‌سازی، نسبت «تعداد بسته‌های کنترلی که در مرحله تشکیل و نگهداری مسیر تولید می‌شود» را به «تعداد کل بسته‌ها»، به‌عنوان سربار مسیریابی تعریف می‌کنیم. نمودار (الف) میزان تغییر سربار مسیریابی را در شرایط تغییر چگالی خودروها نشان می‌دهد. در زمانی که چگالی خودروها کم است، در صورت شکست مسیر توسط یکی از خودروها، احتمال جایگزینی آن با یک خودروی دیگر کمتر است. زیرا خودروهای کمی در مجاورت یکدیگر حرکت می‌کنند و در این شرایط، بسته‌های کنترلی متعددی برای ترمیم مسیر تولید و پخش می‌شود. در شرایط چگالی میانه یعنی چگالی ۰/۰۱۵ خودرو بر مترمربع، میزان سربار کنترلی در همه روش‌ها، به کمترین حد خود می‌رسد. این موضوع بیانگر کمیت مناسب خودروهای همسایه برای حفظ تعادل بین میزان چگالی و سربار کنترلی است.



(الف) تغییر چگالی



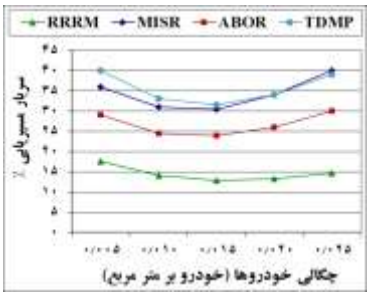
(ب) تغییر **سرعت**



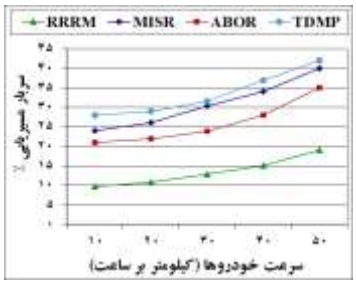
(ج) تغییر محدوده انتقال

شکل (۶): نمودارهای روند شکست مسیر در محیط شهری

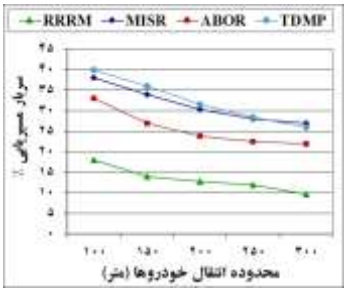
Figure (6): Diagrams of the route failure trend in the urban environment, a) Changes in density, b) Changes in speed, c) Changes in transmission range



(الف) تغیر چگالی



(ب) تغییر **سرعت**



(ج) تغییر محدوده انتقال

شکل (۷): نمودارهای روند تغییر سربار مسیریابی در محیط شهری

Figure (7): Diagrams of the routing overhead trend in the urban environment, a) Changes in density, b) Changes in speed, c) Changes in transmission range

در ادامه، با افزایش تعداد خودروها در محدوده انتقال یکدیگر، پیام‌های کنترلی بیشتری میان خودروها جهت تشکیل یا ترمیم مسیر تبادل می‌شود. با این حال، نتایج مقایسه، بهبود قابل ملاحظه‌ای از کنترل سربار را توسط RRRM نشان می‌دهد. علت این بهبود، این است که در RRRM، برای انتشار امتیاز شایستگی خودروها، از پیام‌های مجزا استفاده نشده و از پیام‌های دوره-ای استفاده می‌شود. ضمنا پیام‌های مربوط به تشکیل و نگهداری مسیر نیز به میزان حداقلی ایجاد و منتشر می‌شوند. سربار کنترلی سایر روش‌ها به‌طور قابل توجهی بالاتر از RRRM است و دلیل آن، نیازمندی به ارسال پیام‌های کنترلی به‌صورتی

منظم به دلیل نیاز به ترمیم مسیر در شرایط تغییر توپولوژی است. در نمودار (ب)، افزایش سرعت خودروها و ورود به محدوده انتقال خودروی جدید و یا خروج از محدوده انتقال خودروی قبلی، نیازمندی به انتشار بسته‌های کنترلی جهت شناسایی همسایگان جدید و ترمیم مسیر را بیشتر می‌کند. لذا سربار کنترلی با افزایش سرعت خودروها بیشتر می‌شود. هرچند که ABOR بر استفاده بهینه از پیام های دوره ای و کاهش پیام های کنترلی تاکید دارد و در این معیار از MISR و TDMP نیز پیشی گرفته است اما اهداف RRRM در حصول پایداری، سربار کنترلی در روش پیشنهادی را به‌طور واضح کاهش داده است. زیرا احتمال تغییر جهت و یا کاهش ناگهانی سرعت خودروهای مسیر در RRRM کمتر بوده و همین موضوع باعث کاهش پیام‌های کنترلی مربوط به ترمیم مسیر در RRRM می‌گردد. با افزایش محدوده انتقال خودروها در نمودار (ج)، میزان اتصال خودروها بیشتر شده و ثبات مسیر بیشتر می‌شود و در نتیجه سربار کنترلی در همه روش‌ها روند نزولی دارد.

۳-۲-۵- میانگین تاخیر در سناریوی شهری

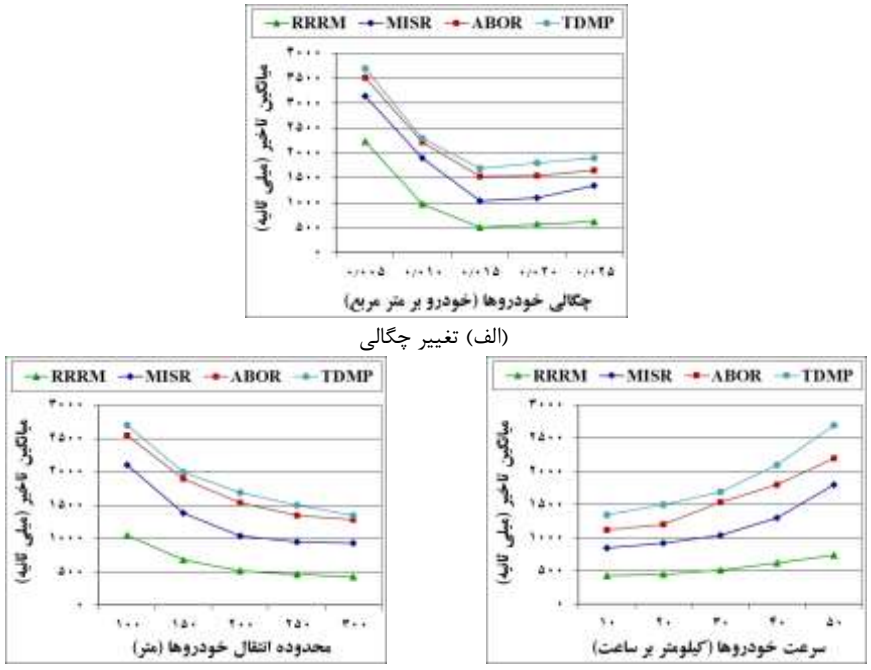
تاخیر انتها-به-انتها به‌عنوان متوسط زمان لازم برای ارسال یک بسته از خودروی مبدا به خودروی مقصد در نظر گرفته می‌شود. نمودارهای (الف)، (ب) و (ج) در شکل (۸)، میانگین تأخیر (بر حسب میلی ثانیه) در RRRM و سایر روش‌ها را به‌عنوان تابعی از چگالی خودروها، سرعت و محدوده انتقال آنها نشان می‌دهند. تأخیر تحویل پیام با تعداد وسایل-نقلیه نسبت معکوس دارد. تراکم بالای وسیله-نقلیه، اتصال شبکه را بهبود می‌بخشد و بنابراین شانس بیشتری برای ارسال پیام با تاخیر کمتر وجود دارد. البته در زمانی که تراکم خودروها از حد میانه رو به افزایش می‌گذارد، به علت افزایش ازدحام و همچنین افزایش گام‌های مسیر، نمودار تاخیر روند افزایش ملایمی دارد. در این شبیه‌سازی، RRRM در مقایسه با سایر روش‌ها، کمترین تأخیر تحویل پیام را در هر سه نمودار نشان می‌دهد. تأخیر حداقلی انتقال در RRRM نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به علت پایداری بیشتر و تغییر کمتر در اعضای مسیر، عملکرد بهتری از سایر روش‌ها دارد.

۴-۲-۵- نسبت تحویل بسته‌ها در سناریوی شهری

نسبت تحویل بسته، نشان‌دهنده درصد بسته‌هایی است که با موفقیت از خودروی مبدا به مقصد تحویل داده شده‌اند. در شکل (۹)، تحلیل نسبت تحویل بسته‌ها، با تغییر سه عامل چگالی، سرعت و محدوده انتقال وسایل-نقلیه انجام شده است. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که تغییرات چگالی و محدوده انتقال خودروهای مسیر، با نسبت تحویل بسته، نسبت مستقیم دارند ولی افزایش سرعت خودروها به کاهش نسبت تحویل بسته‌ها منجر می‌شود. همان‌طور که در نمودارهای شکل (۹) مشخص است، RRRM نسبت تحویل بسته را در سطح بالاتری از سایر روش‌ها حفظ می‌کند. هنگامی که سرعت خودروها به ۵۰ کیلومتر بر ساعت می‌رسد، نسبت تحویل بسته توسط RRRM، معادل ۹۲.۵٪ است، در حالیکه نسبت تحویل بسته در همین سرعت، توسط سه روش دیگر بین ۶۷.۵ تا ۷۲ درصد است، به این معنی که در این روش‌ها بیشتر از ۲۰ درصد بسته‌های ارسالی حذف می‌شوند. به همین ترتیب، هنگامی که چگالی خودروها ۰/۰۰۵ خودرو بر مترمربع است، ۸۶ درصد از بسته‌ها با استفاده از روش پیشنهادی با موفقیت منتقل می‌شوند، در حالیکه در سه روش دیگر، بین ۷۱ تا ۷۷ درصد بسته‌ها با موفقیت منتقل می‌شوند. افزایش تعداد خودروها، منجر به اتصال بیشتر و افزایش نسبت تحویل بسته می‌شود. تشکیل مسیر پایدارتر به‌طور قابل ملاحظه‌ای منجر به بهبود نسبت ارسال بسته‌ها در RRRM شده و بسته‌ها به‌صورت میانگین به نسبت ۹۵.۲٪ با موفقیت منتقل می‌شوند.

۳-۲-۵- بررسی تطبیقی کارایی روش ها در سناریوی شهری

جدول (۴)، یک مقایسه تطبیقی بین RRRM و رقبای آن را ارائه می‌دهد. همان‌طور که از مقادیر میانه در جدول فوق مشخص است، RRRM در سناریوی شهری و در هر یک از معیارهای عملکردی، به نتایج بسیار بهتری دست پیدا کرده است. بنابراین استفاده از معیارهای قابلیت اطمینان در انتخاب اجزای مسیر، یک فرآیند مؤثر در راستای افزایش پایداری بوده و کیفیت عملکرد روش پیشنهادی را بهبود داده است.

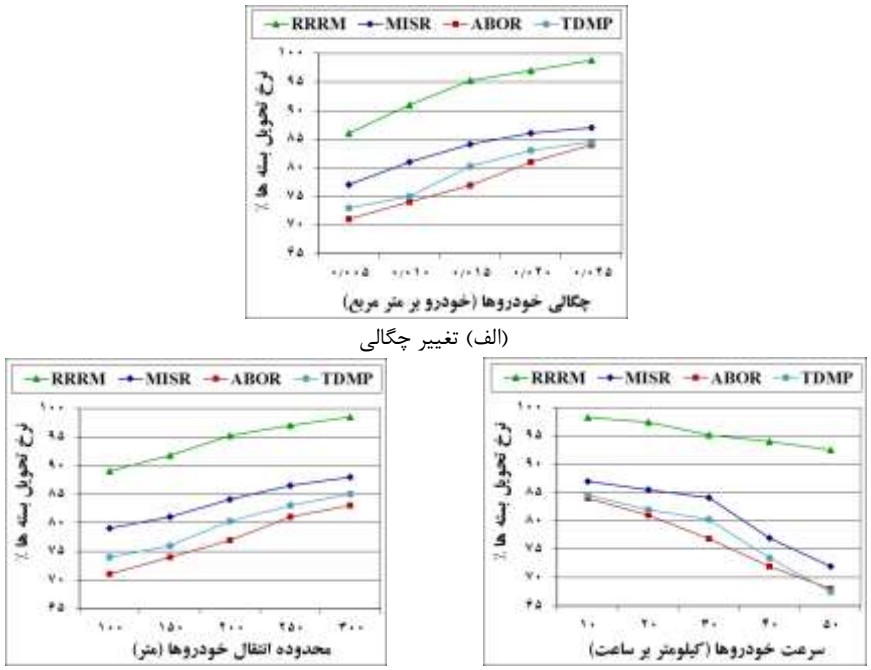


(الف) تغییر چگالی

(ب) تغییر **سرعت** (ج) تغییر محدوده انتقال

شکل (۸): نمودارهای تغییرات میانگین تاخیر در محیط شهری

Figure (8): Diagrams of the average delay trend in the urban environment, a) Changes in density, b) Changes in speed, c) Changes in transmission range



(الف) تغییر چگالی

(ب) تغییر **سرعت** (ج) تغییر محدوده انتقال

شکل (۹): نمودارهای تغییرات نسبت تحویل بسته‌ها در محیط شهری

Figure (9): Diagrams of the packet delivery rate trend in the urban environment, a) Changes in density, b) Changes in speed, c) Changes in transmission range (c)

۴-۲-۵- بررسی عملکرد روش پیشنهادی در سناریوی بزرگ‌راهی

برای انجام این بررسی، از شبکه جاده‌ای در تصویر (د) شکل (۴) استفاده شده است. همان‌طور که در جدول (۳) اشاره شد، شبیه‌سازی در این بخش با پارامترهایی متناسب با محیط بزرگ‌راهی انجام شده و سه ارزیابی به شرح زیر صورت گرفته است:

۱) تغییر چگالی خودرو در مسیر، به‌صورت طیفی از پراکنده تا متراکم: در طول و عرض مشخص شده برای شبیه‌سازی محیط بزرگ‌راهی، تعداد خودروهای مسیر از ۵۰ تا ۲۵۰ افزایش یافته و آثار آن مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.
۲) تاثیر تغییر سرعت خودروها: تغییر سرعت خودروها نیز بر اساس شرایط بزرگ‌راهی تنظیم می‌شود و سرعت خودروها از ۸۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت افزایش یافته و تاثیر آن مورد ارزیابی قرار می گیرد.
۳) تغییر محدوده انتقال خودروها از ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر: محدوده انتقال خودروها از ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر تغییر می‌یابد تا اثر آن بر کیفیت روش‌های مورد مطالعه مشخص گردد.
نتایج ارزیابی انجام شده با سه متغیر فوق و چهار معیار عملکردی شامل «شکست مسیر»، «سربار مسیریابی»، «نسبت تحویل بسته» و «میانگین تأخیر» در محیط بزرگ‌راهی به شرح ذیل بیان می‌گردد.

۱-۴-۲-۵- شکست مسیر در سناریوی بزرگ‌راهی

در نمودارهای (الف)، (ب) و (ج) در شکل (۱۰)، سناریوی محیط بزرگ‌راهی برای تحلیل میزان شکست مسیر با تغییر سه عامل چگالی، سرعت و محدوده انتقال وسایل-نقلیه انجام شده و روش پیشنهادی با سه روش دیگر مقایسه شده است. مشابه سناریوی شهری، شکست مسیر با سرعت خودروها نسبت مستقیم ولی با چگالی و محدوده انتقال آنها، نسبت معکوس دارد.
در سناریوی بزرگ‌راهی، به علت افزایش مساحت مسیر، امکان حرکت خودروها در چند باند و خصوصا افزایش سرعت حرکت خودروها، نگهداری اتصال بین خودرویی چالش برانگیز خواهد بود. لذا کمیت معیارهای ارزیابی شده، در سناریوهای بزرگ‌راهی نسبت به سناریوی شهری مشابه، کاهش می یابد. در چگالی پایین، اتصال بین خودروهای مسیر، کاهش یافته و میزان شکست مسیر، بالاتر است. ولی با افزایش چگالی و بهبود اتصال خودروها، میزان شکست مسیر، در همه روش ها کاهش می‌یابد. در RRRM، به دلیل پایداری بهتر، میزان شکست مسیر حداقل ۴۰ درصد کمتر از سه روش دیگر است. با افزایش سرعت خودروها در مسیر و افزایش احتمال خروج خودروها از محدوده انتقال یکدیگر، احتمال شکست مسیر نیز بیشتر می‌شود. اما در RRRM، روند صعودی میزان شکست مسیر، از شتاب کمتری برخوردار است و به علت انتخاب خودروهای مطمئن، اعضای مسیر از پایداری بیشتری برخوردار بوده و شکست مسیر به میزان کمتری رخ می‌دهد.

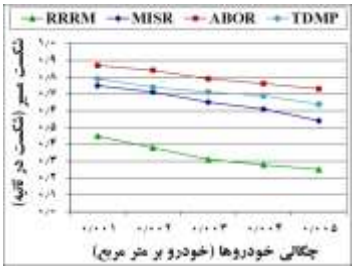
۲-۴-۲-۵- سربار مسیریابی در سناریوی بزرگ‌راهی

در نمودارهای (الف)، (ب) و (ج) در شکل (۱۱)، تحلیل سربار مسیریابی با تغییر سه عامل چگالی، سرعت و محدوده انتقال وسایل-نقلیه برای سناریوی بزرگ‌راهی انجام شده است. روند تغییر سربار کنترلی در سناریوی بزرگ‌راهی مشابه سناریوی شهری است ولی میزان سربار کنترلی بیشتر از سناریوی شهری است. علت آن افزایش محدوده فیزیکی و کاهش اتصال بین خودروها و همچنین افزایش سرعت آنها در محیط بزرگراه است. با این حال، نتایج حاصله از تحلیل نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در سناریوی بزرگ‌راهی نیز بهبود طور قابل ملاحظه‌ای در معیارهای مورد بررسی داشته و میزان حداقلی آن ۱۵.۲ و حداکثری آن ۲۲/۳ درصد است. این در حالیست که میزان حداقل و حداکثر سربار کنترلی در سایر روش‌ها ۲۸/۷ و ۴۸ درصد است. در زمانی که چگالی خودروها کم است، بسته‌های کنترلی متعددی برای ترمیم مسیر تبادل می‌شوند. در شرایط چگالی میانه، سربار کنترلی در همه روش ها، به کمترین حد می‌رسد ولی با افزایش تراکم خودروها، پیام‌های کنترلی بیشتری میان خودروها تبادل می‌شود.

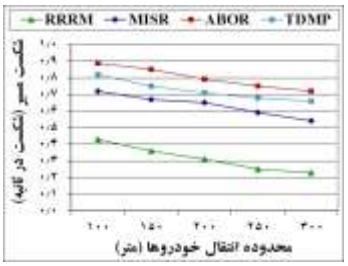
Table (4): Comparative analysis with median values in the urban scenario

جدول (۴): تحلیل تطبیقی با مقادیر میانه در سناریوی شهری

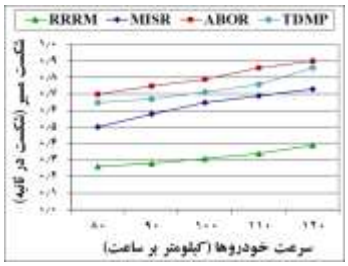
مقادیر میانه	معیارهای کارایی	RRRM	MISR	ABOR	TDMP
چگالی = ۰/۰۱۵ خودرو بر مترمربع سرعت = ۳۰ کیلومتر بر ساعت محدوده انتقال = ۲۰۰ متر	شکست مسیر (شکست بر ثانیه)	۰/۲۸	۰/۵۵	۰/۷۱	۰/۶۱
	سربار مسیریابی (درصد)	۱۲/۸	۳۰/۴	۲۳/۹	۳۱/۶
	تاخیر (میلی ثانیه)	۵۱۵	۱۰۳۸	۱۵۳۷	۱۶۸۹
	نسبت تحویل بسته ها (درصد)	۹۵/۲	۸۴/۱	۷۶/۹	۸۰/۳



(الف) تغییر چگالی



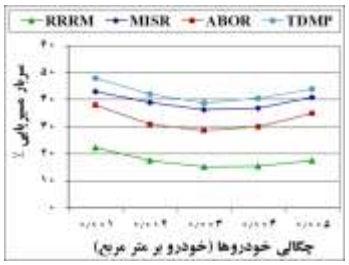
(ج) تغییر محدوده انتقال



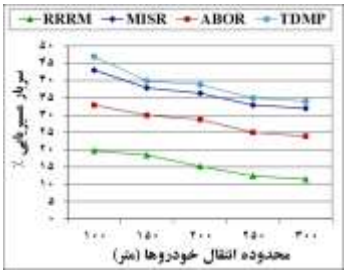
(ب) تغییر **سرعت**

شکل (۱۰): نمودارهای روند شکست مسیر خودروها در محیط بزرگراهی

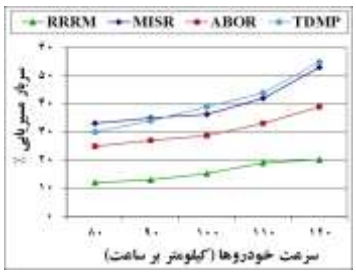
Figure (10): Diagrams of the route failure trend in the highway environment, a) Changes in density, b) Changes in speed, b) Changes in transmission range



(الف) تغییر چگالی



(ج) تغییر محدوده انتقال



(ب) تغییر **سرعت**

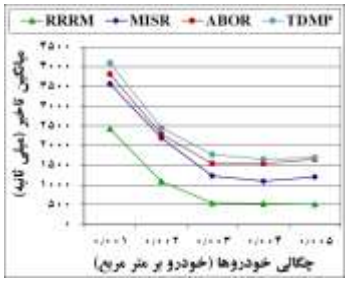
شکل (۱۱): نمودارهای روند تغییر سربار مسیریابی در محیط بزرگراهی

Figure (11): Diagrams of the routing overhead trend in the highway environment, a) Changes in density, b) Changes in speed, c) Changes in transmission range

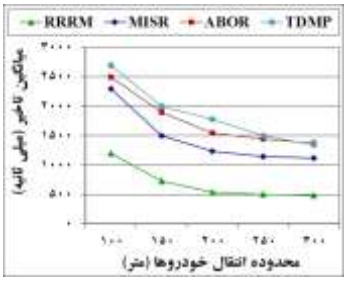
همچنین نمودارهای مذکور، بهبود قابل توجه از کنترل سربار توسط RRRM را نشان می‌دهند. در RRRM، با استفاده حداکثری از پیامهای دوره‌ای، تولید پیام‌های مربوط به تشکیل و نگهداری مسیر، حداقل می‌شوند. در نمودار (ب) نیز سربار کنترلی با افزایش سرعت خودروها بیشتر می‌شود. ولی با توجه به معیارهای پایداری RRRM، احتمال تغییر جهت و سرعت خودروهای مسیر در آن کمتر بوده و سربار کنترلی مربوط به ترمیم مسیر در آن کاهش می‌یابد.

۳-۴-۲-۵- میانگین تاخیر در سناریوی بزرگ‌راهی

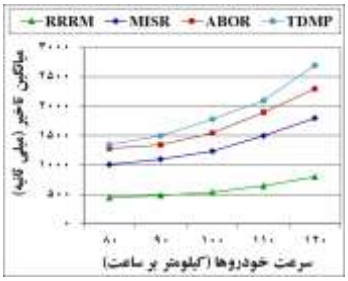
نمودارهای (الف)، (ب) و (ج) در شکل (۱۲)، میانگین تأخیر در RRRM و سایر روش‌ها را در سناریوی بزرگ‌راهی نشان می‌دهند. تأخیر تحویل پیام با تعداد وسایل-نقلیه نسبت معکوس دارد.



(الف) تغییر چگالی



(ج) تغییر محدوده انتقال



(ب) تغییر **سرعت**

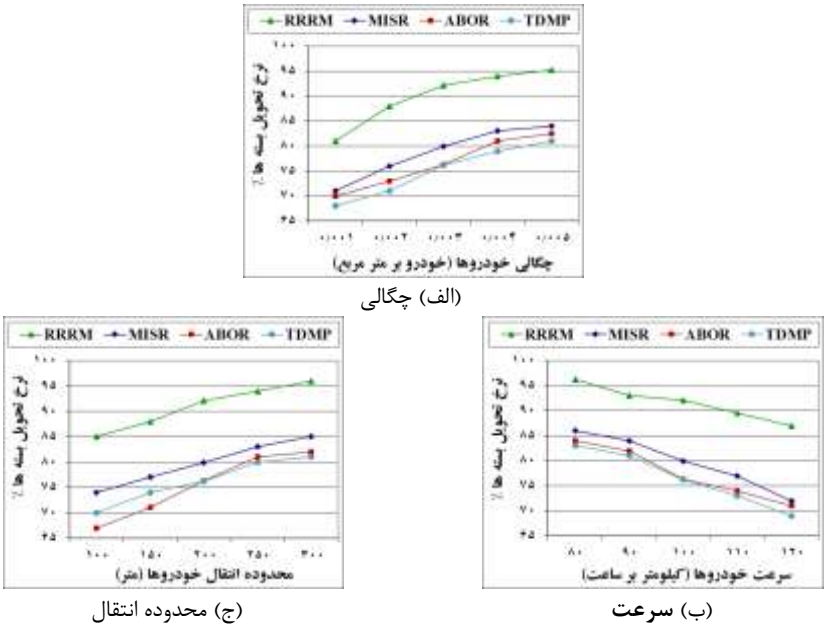
شکل (۱۲): نمودارهای تغییرات میانگین تاخیر در محیط بزرگراهی

Figure (12): Diagrams of the average delay trend in the highway environment, a) Changes in density, b) Changes in speed, c) Changes in transmission range

در بزرگراه و در چگالی پایین‌تر، اتصال بین خودروها کاهش یافته و میانگین تاخیر افزایش دارد. زمانی‌که تراکم خودروها بیشتر می‌شود، میزان تاخیر نیز کاهش می‌یابد ولی به علت افزایش گام‌های مسیر در تراکم‌های بالا، روند کاهش تاخیر، شیب نزولی دارد. نمودار (ب) نشان می‌دهد که افزایش سرعت خودروها بر پخش پیام‌های حیاتی و ایمنی تأثیرگذار است و می تواند منجر به تاخیر در ارسال این پیام‌ها شود. البته میانگین تاخیر در RRRM در مقایسه با سایر روش‌ها، افزایش حداقلی دارد و حتی به میزانی کمتر از ۵۰ درصد تأخیر انتقال در MISR که بهترین عملکرد را بعد از RRRM دارد، رسیده است. این نتایج بیانگر این است که معیارهای پایداری در روش پیشنهادی، در شرایط مختلف جاده‌ای، از جامعیت و کفایت مناسبی برخوردار است و تاخیر در پخش پیام‌های ایمنی را به حداقل می‌رساند. ضمنا با توجه به نتایج حاصله، روش‌های TDMP، MISR و ABOR برای کاربردهای ایمنی مناسب نیستند و پیام‌های اضطراری قبل از رسیدن به مقصد، حذف شده و یا به تأخیر می‌افتند.

۴-۴-۲-۵- نسبت تحویل بسته‌ها در سناریوی بزرگ‌راهی

در نمودارهای شکل (۱۳)، تحلیل نسبت تحویل بسته‌های اطلاعاتی در شرایط بزرگ‌راهی انجام شده است. در نمودار (الف)، با افزایش تعداد وسایل-نقلیه، نسبت تحویل بسته‌ها به سرعت افزایش می‌یابد. زیرا رشد تراکم وسایل-نقلیه، باعث بهبود اتصال شبکه می‌شود و احتمال ارسال موفقیت آمیز بسته‌ها را افزایش می‌دهد. همان‌طور که در نمودار (ب) نشان داده شده است، RRRM در زمان افزایش سرعت خودروها مطمئن‌تر عمل می کند و نسبت تحویل بسته نرخ نزولی ملایم‌تری دارد و حتی در سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، نرخ تحویل بسته ها را بالاتر از ۸۷ درصد نگه می‌دارد. انتخاب خودروهای رله مطمئن‌تر و تشکیل مسیر پایدار، نسبت ارسال بسته ها در RRRM را حتی در سناریوی بزرگ‌راهی بهبود داده و بسته‌های اطلاعاتی به-صورت میانگین به نسبت ۹۲/۱ درصد با موفقیت منتقل می‌شوند. همان‌طور که در نمودار (ج) نشان داده شده است، محدوده انتقال نیز تأثیر قابل‌توجه بر نسبت تحویل بسته‌ها دارد. از نمودارهای مربوط به تحلیل نسبت تحویل بسته‌ها، نتیجه‌گیری می-شود که RRRM نسبت به روش‌های دیگر، بهبودی متمایز و قابل توجه در قابلیت اطمینان و ارسال موفق بسته‌های اطلاعاتی ارائه می‌کند. این میزان ارسال موفق بسته‌های اطلاعاتی برای کاربردهای ایمنی و شرایط بحرانی اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت.



(الف) چگالی

(ب) **سرعت** (ج) محدوده انتقال

شکل (۱۳): نمودارهای تغییرات نسبت تحویل بسته‌ها در محیط بزرگراهی

Figure (13): Diagrams of the Packet delivery rate trend in the highway environment, a) Changes in density, b) Changes in speed, c) Changes in transmission range

Table (5): Comparative analysis with median values in the highway scenario

جدول (۵): تحلیل تطبیقی با مقادیر میانه در سناریوی بزرگ‌راهی

مقادیر میانه	معیارهای کارایی	RRRM	MISR	ABOR	TDMP
چگالی = ۰/۰۰۳ خودرو بر مترمربع سرعت = ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت محدوده انتقال = ۲۰۰ متر	شکست مسیر (شکست بر ثانیه)	۰/۳۱	۰/۶۵	۰/۷۹	۰/۷۱
	سربار مسیریابی (درصد)	۱۵/۲	۳۶/۴	۲۸/۷	۳۸/۹
	تاخیر (میلی ثانیه)	۵۴۲	۱۲۳۷	۱۵۴۴	۱۷۳۸
	نسبت تحویل بسته ها (درصد)	۹۲/۱	۷۹/۹	۷۶/۳	۷۶/۲

۵-۲-۵- بررسی تطبیقی کارایی روش‌ها در سناریوی بزرگ‌راهی

جدول (۵)، یک مقایسه تطبیقی بین روش‌های ارزیابی شده را ارائه می‌دهد. همان‌طور که از مقادیر میانه‌ای که در جدول فوق مشخص است، RRRM در کلیه سناریوهای بزرگ‌راهی، به نتایج بسیار بهتری دست پیدا کرده است. بنابراین استفاده از امکانات ترکیبی V2V به‌همراه بهره‌گیری از معیارهای پایداری در انتخاب رله، کیفیت عملکردی RRRM را به‌صورت قابل توجه‌ای بهبود داده است.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، برای بهبود قابلیت اطمینان در ارسال پیام‌های بلادرنگ در شبکه‌های خودرویی، یک مدل مسیریابی به نام RRRM ارائه شد. این مدل به وسایل-نقلیه هم‌جوار، این امکان را می‌دهد که با استفاده از سه معیار مربوط به افزایش قابلیت اطمینان، شایسته‌ترین خودرو را به‌عنوان رله انتخاب نموده و از ارسال پیام‌های کنترلی غیرضروری اجتناب نمایند. تشکیل مسیر به‌وسیله شایسته‌ترین خودروها، منجر به پایداری مسیر و کاهش تاخیر شده و در این شرایط، دریافت بسته‌ها توسط مقصد، در نزدیک‌ترین زمان نسبت به زمان واقعی، میسر می‌گردد. با توجه به مطالعه و بررسی روش‌های اخیر، چالش‌های مسیریابی در شبکه‌های خودرویی اغلب شامل حفظ ثبات مسیر در زمان جابه‌جایی خودروها، پیشگیری از شکست مسیر و جلوگیری از انتشار بی‌رویه پیام‌های کنترلی است. بر همین اساس، با ارائه سه معیار جدید و موثر برای افزایش قابلیت اطمینان مسیر، از شکست مسیر پیش‌گیری شده و پیام‌های کنترلی کاهش می‌یابد. با هدف بررسی تعمیم‌پذیری، ارزیابی RRRM با

شبیه‌سازی گسترده در NS-3 و سومو انجام شده است. نتایج ارزیابی بیانگر این است که RRRM برخلاف اغلب روش‌ها، صرفا در یک سناریوی خاص کاربردپذیر نبوده و در بخش‌های مختلف شبکه شهری و بزرگ‌راهی قابل به‌کارگیری است. برای سنجش جامعیت مدل پیشنهادی لازم است که بهبود یکی از معیارها مانند پایداری، منجر به افت سایر معیارهای کیفی نشود. لذا علاوه بر معیار «شکست مسیر»، بازدهی RRRM با سه معیار کیفی دیگر با عنوان «سربار مسیریابی»، «میانگین تاخیر» و «نرخ ارسال بسته‌ها» نیز مورد بررسی قرار گرفته و نتایج ارزیابی، بیانگر برتری و جامعیت آن است. از نتایج کاربردی این پژوهش در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، می‌توان به قابلیت ارسال پیام به‌صورتی مطمئن و نزدیک به زمان واقعی اشاره کرد که در شرایط بحرانی، بسیار ارزنده بوده و در سلامتی و بهبود زندگی شهروندان، نقش مثبتی ایفا می‌کند. ضمنا معیارهای پایداری ارائه شده در این پژوهش، می‌توانند توسط شرکت‌های صنعتی برای بهبود کیفیت ابزارهای سیستم حمل و نقل هوشمند، به‌کارگیری شوند. برای پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌گردد: (۱) استفاده از ظرفیت ابزارهای هوشمند در دسترس از جمله تلفن همراه کاربران، پهبادها و سنسورها جهت ارسال پیام‌های ایمنی، می‌تواند به‌عنوان یکی از برنامه‌های تحقیقاتی آتی مطرح گردد، (۲) امتیازبندی خودروها از روی سابقه عملکرد آنها در مسیرهای قبلی و اعلام سوابق مثبت آن برای رانندگان خودروها در اپلیکیشن‌های مدیریت ترافیک شهری می‌تواند به‌عنوان یکی از موضوع‌های پژوهشی آتی باشد. این امر می‌تواند تاثیرات روانی در رعایت بهتر قوانین رانندگی و بهبود شرایط ترافیکی داشته باشد و (۳) افزایش امنیت در فرایند امتیازدهی به خودروها با استفاده از بلاک‌چین[۳۵]، نیز می‌تواند موضوع دیگری در راستای عدم انکار و امن‌سازی روش پیشنهادی باشد.

References
مراجع

[1] X. Wang, Z. Ning, X. Hu, E. Ngai, L. Wang, B. Hu, R. Kwok, "A city-wide real-time traffic management system: Enabling crowdsensing in social internet of vehicles", IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 9, pp. 19–25, Sept. 2018 (doi: 10.1109/MCOM.2018.1701065).

[2] S. Boussoufa-Lahlah, F. Semchedine, L. Bouallouche-Medjkoune, "Geographic routing protocols for Vehicular Ad hoc networks (VANETs): A survey", Vehicular Communications, vol. 11, pp. 20–31, Jan. 2018 (doi: 10.1016/j.vehcom.2018.01.006).

[3] M. Chen, Y. Tian, G. Fortino, J. Zhang, I. Humar, "Cognitive internet of vehicles", Computer Communications, vol. 120, pp. 58–70, May 2018 (doi: 10.1016/j.comcom.2018.02.006).

[4] L. Yao, J. Wang, X. Wang, A. Chen, Y. Wang, "V2X Routing in a VANET based on the hidden markov model", IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, vol. 19, no. 3, pp. 889–899, March 2018 (doi: 10.1109/TITS.2017.2706756).

[5] K. Lin, C. Li, G. Fortino, J.J.P.C. Rodrigues, "Vehicle route selection based on game evolution in social internet of vehicles", IEEE Internet of Things Journal, vol. 5, no. 4, pp. 2423–2430, Aug. 2018 (doi: 10.110-9/JIOT.2018.2844215).

[6] C. Wang, L. Zhang, Z. Li, C. Jiang, "SDCoR: Software defined cognitive routing for internet of vehicles", IEEE Internet of Things Journal, vol. 5, no. 5, pp. 3513–3520, Oct. 2018 (doi: 10.1109/JIOT.2018.281221-0).

[7] L.L. Cardenas, A.M. Mezher, P.A.B. Bautista, M.A. Igartua, "A probability-based multimetric routing protocol for vehicular Ad Hoc networks in urban scenarios", IEEE Access, vol. 7, pp. 178020–178032, Dec. 2019 (doi: 10.1109/ACCESS.2019.2958743).

[8] T.S.J. Darwish, K.A. Bakar, K. Haseeb, "Reliable intersection-based traffic aware routing protocol for urban areas vehicular ad hoc networks", IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, vol. 10, no. 1, pp. 60–73, Jan. 2018 (doi: 10.1109/MITS.2017.2776161).

[9] F. Abbas, P. Fan, "Clustering-based reliable low-latency routing scheme using ACO method for vehicular networks", Vehicular Communications, vol. 12, pp. 66–74, Apr. 2018 (doi: 10.1016/j.vehcom.2018.02.0-04).

[10] H. Gao, C. Liu, Y. Li, X. Yang, "V2VR: Reliable hybrid-network-oriented V2V data transmission and routing considering RSUs and connectivity probability", IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, vol. 22, no. 6, pp. 3533–3546, Apr. 2021 (doi: 10.1109/TITS.2020.2983835).

[11] E. Pierro, A. D'Angola, G. Carbone, "Road vehicles travelling with time-dependent speed: theoretical study on the directional stability", Vehicle System Dynamics, vol. 59, no. 8, pp. 1–13, Aug. 2020 (doi: 10.1080/0-0423114.2020.1741654).

[12] B. Mazloumi-Fard, A. Hatamlou, "A road-aware routing protocol for inter-vehicle Ad-Hoc networks", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 11, no. 41, pp. 1–12, Oct. 2020 (in Persian)

(doi: 20.1001.1.23223871.1399.11.43.5.8).
[13] M. Hasanhoseini, F. Mesrinejad, H. Mahdavi-Nasab, "A routing method for tracking a moving target with reduced energy consumption", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 11, no. 43, pp. 29–47, Oct. 2020 (in Persian) (doi: 20.1001.1.23223871.1399.11.43.3.6).
[14] S.R. Nabavi, N. Osati-Eraghi, J. Akbari-Torkestani, "Wireless sensor networks routing using clustering based on multi-objective particle swarm optimization algorithm", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 12, no. 47, pp. 29-47, Dec. 2021 (in Persian) (dor: 20.1001.1.23223871.1400.1-2.3.3.3).
[15] M. Vafaei, A. Khademzadeh, M.A. Pourmina, "A new QoS-based routing protocol for video streaming in VANETs using ACO algorithm and fuzzy logic", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 12, no. 46, pp. 49–68, Aug. 2021 (in Persian) (dor: 20.1001.1.23223871.1400.12.2.4.2).
[16] I. Zaimi, A. Boushaba, Z. Squalli Houssaini, M. Oumsis, "A fuzzy geographical routing approach to support real-time multimedia transmission for vehicular ad hoc networks", Wireless Networks, vol. 25, no. 3, pp. 1289–1311, Apr. 2019 (doi: 10.1007/s11276-018-1729-9).
[17] T. Thirugnanam, M.R. Ghalib, "A reward based connectivity-aware IoV neighbor selection for improving reliability in healthcare information exchange", Peer-to-Peer Networking and Applications, vol. 13, no. 6, pp. 2112–2122, Nov. 2020 (doi: 10.1007/s12083-019-00829-w).
[18] S. Khan, M. Alam, M. Fränzle, N. Müllner, Y. Chen, "A traffic aware segment-based routing protocol for VANETs in urban scenarios", Computers and Electrical Engineering, vol. 68, pp. 447–462, May 2018 (doi: 10.1016/j.compeleceng.2018.04.017).
[19] K.H.N. Bui, J.J. Jung, "ACO-based dynamic decision making for connected vehicles in IoT system", IEEE Trans. on Industrial Informatics, vol. 14, no. 8, pp. 5648-5655, Mar. 2019 (doi: 10.1109/TII.2019.2906886).
[20] M. Naderi, F. Zargari, M. Ghanbari, "Adaptive beacon broadcast in opportunistic routing for VANETs", Ad Hoc Networks, vol. 86, pp. 119–130, Apr. 2019 (doi: 10.1016/j.adhoc.2018.11.011).
[21] B. Wu, H. Shen, K. Chen, "Exploiting active subareas for multicopy routing in VDTNs", IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 67, no. 5, pp. 4374–4388, Dec. 2018 (doi: 10.1109/ICCCN.2015.7288409).
[22] F. Li, X. Song, H. Chen, X. Li, Y. Wang, "Hierarchical routing for vehicular Ad Hoc networks via reinf-orcement learning", IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 68, no. 2, pp. 1852–1865, Dec. 2019 (doi: 10.1109/TVT.2018.2887282).
[23] A. Silva, N. Reza, A. Oliveira, "Improvement and performance evaluation of GPSR-based routing techni-ques for vehicular ad hoc networks", IEEE Access, vol. 7, pp. 21722–21733, Feb. 2019 (doi: 10.1109/AC-CESS.2019.2898776).
[24] D. Zhang, T. Zhang, X. Liu, "Novel self-adaptive routing service algorithm for application in VANET", Applied Intelligence, vol. 49, no. 5, pp. 1866–1879, May 2019 (doi: 10.1007/s10489-018-1368-y).
[25] X.Y. Yang, W.L. Zhang, H.M. Lu, L. Zhao, "V2V routing in VANET based on heuristic q-learning", Intern-ational Journal of Computers, Communications and Control, vol. 15, no. 5, pp. 1–17, Oct. 2020 (doi: 10.15837/ijccc.2020.5.3928).
[26] B.S. Roh, M.H. Han, J.H. Ham, K.I. Kim, "Q-LBR: Q-learning based load balancing routing for UAV-assisted VANET", Sensors (Switzerland), vol. 20, no. 19, pp. 1–17, Oct. 2020 (doi: 10.3390/s20195685).
[27] K.Z. Ghafoor, L. Kong, D.B. Rawat, E. Hosseini, A.S. Sadiq, "Quality of service aware routing protocol in software-defined internet of vehicles", IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 2, pp. 2817–2828, Oct. 2019 (doi: 10.1109/JIOT.2018.2875482).
[28] Y. Al-Mayouf, N. Abdullah, O. Mahdi, S. Khan, M. Ismail, M. Guizani, S. Ahmed, "Real-time intersection-based segment aware routing algorithm for urban vehicular networks", IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, vol. 19, no. 7, pp. 2125–2141, May 2018 (doi: 10.1109/TITS.2018.2823312).
[29] J. Wu, M. Fang, H. Li, X. Li, "RSU-assisted traffic-aware routing based on reinforcement learning for urban vanets", IEEE Access, vol. 8, pp. 5733–5748, Jan. 2020 (doi: 10.1109/ACCESS.2020.2963850).
[30] W. Qi, B. Landfeldt, Q. Song, L. Guo, A. Jamalipour, "Traffic differentiated clustering routing in DSRC and C-V2X hybrid vehicular networks", IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 69, no. 7, pp. 7723–7734, Apr. 2020 (doi: 10.1109/TVT.2020.2990174).
[31] C.V. Anamuro, N. Varsier, J. Schwoerer, X. Lagrange, "Distance-aware relay selection in an energy-efficient discovery protocol for 5G D2D communication", IEEE Trans. on Wireless Communications, vol. 20, no. 7, Feb. 2021 (doi: 10.1109/TWC.2021.3058636).
[32] J. Wan, J. Chen, "AHP based relay selection strategy for energy harvesting wireless sensor networks", Future Generation Computer Systems, vol. 128, pp. 36-44, Mar. 2022 (doi: 10.1016/j.future.2021.09.038).
[33] O. Zytoune, H. Fouchal, S. Zeadally, "A realistic relay selection scheme for cooperative MIMO networks", Ad Hoc Networks, vol. 124, Article Number: 02706, Jan. 2022 (doi: 10.1016/j.adhoc.2021.102706).
[34] S. Dang, J. Tang, J. Li, M. Wen, S. Abdullah, C. Li, "Combined relay selection enabled by supervised machine learning", IEEE Trans. on Vehicular Technology", vol. 70, no. 4, pp. 3938-3943, Mar. 2021 (doi:

10.1109/TVT.2021.3065074).
[35] C.H. Lin, K.H. Liu, "Relay selection for energy-harvesting relays with finite data buffer and energy storage", IEEE Internet of Things Journal, vol. 8, no. 14, pp. 11249-11259, Jan. 2021 (doi: 10.1109/JIOT.2021.3053290).
[36] N. Ziaei, A. Avokh, "Relay selection, clustering, and data aggregation routing in wireless body area networks", International Journal of Communication Systems, vol. 34, no. 10, Article Number: e4837, July 2021 (doi: 10.1002/dac.4837).
[37] M.S. Azhdari, A. Barati, H. Barati, "A robust and smart approach to message broadcasts in vehicular ad hoc networks for emergency", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, pp. 1–20, Apr. 2022 (in Persian) (dor: 20.1001.1.23223871.1402.14.55.10.8).
[38] A. Avokh, A. S. Chaharsough, "Joint multi-hop clustering and routing in VANETs using array of doubly linked list", Journal of Modeling in Engineering, vol. 19, no. 67, pp. 13-32, Dec. 2021 (in Persian) (dor: 10.22075/jme.2021.22568.2037).
[39] H. Fatemidokht, M. Kuchaki Rafsanjani, "Improvement of the bee algorithm based on fuzzy set theory and gravitational search algorithm in VANETs", Tabriz Journal of Electrical Engineering, vol. 48, no. 4, pp. 1677-1689, Feb. 2019 (in Persian).
[40] M.K. Mirzaeei, J.S. Harsini, "A game-theoretic approach to defensive mechanism design for physical layer security: application to vehicular Ad-hoc networks", Tabriz Journal of Electrical Engineering, vol. 47, no. 1, pp. 211-220, Mar. 2017 (in Persian).
[41] A.S. Khan, K. Balan, Y. Javed, S. Tarmizi, J. Abdullah, "Secure trust-based blockchain architecture to prevent attacks in VANET", Sensors, vol. 19, no. 22, Nov. 2019 (doi: 10.3390/s19224954).
[42] Y. Taj, K. Faez, "History based reliability: a novel routing metric in mobile ad hoc networks", Proceeding of the IEEE/ICACT, vol. 2, pp. 1311-1315, Gangwon, Korea (South), Feb. 2010.
[43] M. Ezzat, M. Sakr, R. Elgohary, M. E. Khalifa, "Building road segments and detecting turns from GPS tracks", Journal of Computational Science, vol. 29, pp. 81–93, Nov. 2018 (doi: 10.1016/j.jocs.2018.09.011).
[44] Y. Taj, K. Faez, "Signal strength based reliability: a novel routing metric in MANETs", Proceeding of the IEEE/NSWCTC, vol. 1, pp. 37-40, Wuhan, China, Apr. 2010 (doi: 10.1109/NSWCTC.2010.17).
[45] P. Barbecho Bautista, L. Urquiza Aguiar, M. Aguilar Igartua, "How does the traffic behavior change by using SUMO traffic generation tools", Computer Communications, vol. 181, pp. 1–13, Jan. 2022 (doi: 10.1016/j.comcom.2021.09.023).
[46] S. Zhou, D. Li, Q. Tang, Y. Fu, C. Guo, X. Chen, "Multiple intersection selection routing protocol based on road section connectivity probability for urban VANETs", Computer Communications, vol. 177, pp. 255–264, Sept. 2021 (doi: 10.1016/j.comcom.2021.08.004).
[47] M. Ye, L. Guan, M. Quddus, "TDMP: Reliable target driven and mobility prediction based routing protocol in complex vehicular Ad-hoc network", Vehicular Communications, vol. 31, Article Paper: 100361, Oct. 2021 (doi: 10.1016/j.vehcom.2021.100361).

زیرنویس‌ها

1. Vehicle to vehicle
2. Reliable relay node selection to real-time messaging
3. Record of vehicle displacement
4. Similarity of vehicle velocity with the velocity average of neighbor vehicles
5. Amount of trusty adjacent vehicles
6. Relay
7. SUMO
8. End-to-End Delay
9. Signal to interference plus noise ratio
10. Roadside Unit
11. Analytic Hierarchy Process
12. Global positioning system
13. On-board unit
14. Vehicle movement history
15. Source vehicle
16. Destination vehicle
17. Previous sender vehicle
18. Current sender vehicle
19. Next sender vehicle
20. Worthiness
21. Route request
22. Route Reply
23. Threshold
24. Reset
25. Open street map
26. Car-Following model
27. Krauss
28. Vsafe
29. Gdes
30. Dijkstra
31. Packet delivery ratio
32. Multiple intersection selection routing
33. Adaptive beacon broadcast in opportunistic routing
34. Target Driven and Mobility Prediction based routing
35. Blockchain